GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Thomas Rapp

Produktstrukturierung

Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen



Rapp
Produktstrukturierung

GABLER EDITION WISSENSCHAFT

Thomas Rapp

Produktstrukturierung

Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Günther Schuh

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Rapp, Thomas:
Produktstrukturierung : Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen / Thomas Rapp. Mit einem Geleitw. von Günther Schuh.

(Gabler Edition Wissenschaft)
Zugl.: St. Gallen, Univ., Diss., 1999
ISBN 978-3-8244-7010-5 ISBN 978-3-663-08878-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-08878-3

Ursprünglich erschienen bei Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden, und Deutscher Universitäts-Verlag GmbH, Wiesbaden, 1999

Lektorat: Ute Wrasmann / Brigitte Siegel



http://www.gabler.de
http://www.duv.de

ISBN 978-3-8244-7010-5

Geleitwort

Das Gebiet der *Produktstrukturierung* wird bereits seit ungefähr 20 Jahren wissenschaftlich untersucht. Insbesondere zur Problematik der Variantenvielfalt von Produkten und Prozessen, aber auch zur Frage nach geeigneten Produktstrukturen für bestimmte Anwendungen wurden verschiedene Beiträge veröffentlicht. In der heutigen Zeit des rasanten technischen Wandels hat die Produktstruktur eine strategische Bedeutung erlangt. Nachdem Begriffe wie *Baukastensystem* und *Modularität* bereits seit längerem verwendet werden, hat in jüngerer Zeit vor allem das *Plattformkonzept* an Bedeutung gewonnen.

Bis heute sind jedoch die Grundbegriffe nicht exakt definiert und werden teilweise uneinheitlich verwendet. Herr Rapp stellt das Gebiet der Produktstrukturierung auf eine *solide Begriffsbasis* mit eindeutigen Begriffsinhalten.

Anhand eines Erklärungsmodells werden die *Zusammenhänge* innerhalb der Produktstruktur aufgezeigt und veranschaulicht. Ausgehend von den Dimensionen des Produktstrukturmodells werden *Steuergrössen* zur Beeinflussung der Produktstruktur identifiziert. Durch die Definition von *Kenngrössen* sollen Produktstrukturen messbar werden. Herr Rapp überprüft dazu unter anderem die Ansätze zur *Typenbildung* von Produktstrukturen.

Ausgehend von bestehenden Methodenbausteinen und Ansätzen zur Produktstrukturierung entwickelt Herr Rapp einen durchgängigen Ansatz zum *Produktstrukturmanagement.* In der Vorbereitungsphase der Produktstrukturierung werden unternehmensspezifische Rahmenbedingungen und Vorgängerprodukte analysiert und grundlegende Strukturierungsentscheide gefällt. Während der eigentlichen Produktstrukturierung wird eine zweckneutrale *Basisabbildung* der Produktstruktur erarbeitet. Darauf aufbauend werden die *Erzeugnisgliederungen für die Entwicklung, die Montage, sowie für den Vertrieb* abgeleitet. Die Sicherung der entstandenen Produktstruktur bildet den letzten Baustein des Produktstrukturmanagements.

Am *Beispiel* des Lokomotivherstellers ADtranz illustriert Herr Rapp die Anwendung des Ansatzes zum Produktstrukturmanagement. Ihm ist es in seiner Arbeit gelungen,

das Thema Produktstrukturierung neu zu ordnen und die Möglichkeiten und Wege zur praktischen Umsetzung aufzuzeigen.

Prof. Dr. Günther Schuh

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Unternehmensberater bei der GPS AG in St. Gallen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Günther Schuh, der mir in jeder Beziehung eine hervorragende Betreuung zukommen liess. Von der freundschaftlichen Zusammenarbeit und den zahlreichen Gesprächen mit ihm habe ich sehr profitiert.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Walter Eversheim danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats sowie für die eingehende Durchsicht der Arbeit und die sich daraus ergebenden konstruktiven Anregungen und Hinweise.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Kolleginnen und Kollegen der GPS, die mich durch Anregungen und interessante Diskussionen unterstützt haben. Dieser Dank gilt insbesondere Adrian Hofer, welcher als Sparring-Partner konstruktiv zum Gelingen der Arbeit beitrug. Herrn Dr. Winfried Ley danke ich für die Schaffung der notwendigen Rahmenbedingungen. Für die kritische Durchsicht der Arbeit bedanke ich mich bei Markus Kast, Thomas Friedrich und Dr. Andreas Rudolf. Herrn Martin Landolt von der Firma ADtranz danke ich für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt danke ich meiner Freundin Fabienne Schmidlin für das liebevolle zur Seite stehen und die grosse Geduld. Mein grösster Dank gilt meinen Eltern, welche mich auf meinem Weg stets vorbehaltlos unterstützten. Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Mai 1999 Thomas Rapp

Inhaltsübersicht

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

a	Erfahrungsfaktor
Abb.	Abbildung
ABB	Asea Brown Boveri
ADtranz	ABB Daimler Benz Transportation Systems Ltd.
AG	Aktiengesellschaft
ASME	American Society of Mechanical Engineers
c_e	Einmalkosten zur Schaffung einer Ausprägung eines Parameters
c_g	Kosten zur Realisierung der grössten Ausprägung
c_k	Kosten zur Realisierung der kleinsten Ausprägung
c_o	Einmalkosten zur Schaffung der ersten abgeleiteten Variante
$c_ü$	Kosten der Überdimensionierung
CD-ROM	Compact Disc Read Only Memory
CHF	Schweizer Franken
CNC	Computer Numeric Control
CPU	Central Processing Unit
DEM	Deutsche Mark
DIN	Deutsches Institut für Normung, Deutsche Industrienorm
DSP	Digital Signal Processor
E	Ersatzvariantenbauteil
E_{basis}	Anzahl der Elementvarianten in der Basisabbildung
E_{min}	minimale Anzahl der Elementvarianten
E_{real}	reale Anzahl der Elementvarianten
ECU	European Currency Unit
EDV	elektronische Datenverarbeitung
et al.	und andere
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
ff.	folgende (Seiten)
FMGC	Flight Management and Guidance Computer
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GTO	Gate Turn Off Thyristor
Hrsg.	Herausgeber
i	Zählvariable
I	Interdependenz
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
k	Anzahl Merkmale eines Produktes; Gesamtstückzahl
k	Kilo-
K_{max}	maximale Kombinierbarkeit
K_{real}	reale Kombinierbarkeit
ln	natürlicher Logarithmus
l/s	Liter pro Sekunde
m_i	Anzahl Ausprägungen des Merkmals i
mm	Millimeter
M_{abs}	absoluter Integrationsgrad
M_{rel}	relativer Integrationsgrad
MCC	Micro Compact Car
MCUPS	Million Connection Updates per Second
MFLOPS	Million Floating Point Operations per Second
MHz	Megahertz
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MUSIC	Multi Signal Processor with Intelligent Communication
n	Anzahl Elemente eines Produktes
n_{opt}	optimale Anzahl Intervalle eines Parameters
o.V.	ohne Verfasser
PC	Personal Computer
PDM	Product Data Management
PFA	Produktfamilienarchitektur
PKW	Personenkraftwagen
RAM	Random Access Memory
RRS	reusable – reconfigurable – scalable
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
S	Standardbauteil
S.	Seite
Sp.	Spalte
Tab.	Tabelle
TU	Technische Universität
USD	Amerikanische Dollar
V	Volt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VMEA	Variant Mode and Effects Analysis

VW	Volkswagen
v_i	Variantenzahl des Elementes i
vgl.	vergleiche
W	Watt
Z	Zusatzbauteil
ZE	Zusatzersatzvariantenbauteil
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Ein entscheidender Erfolgsfaktor für Unternehmen ist die Beherrschung von Komplexität[1]. Verschiedene Faktoren haben dazu beigetragen, dass die Komplexität, mit der sich Unternehmen konfrontiert sehen, zugenommen hat.

Einerseits hat die gegenüber dem Markt angebotene Vielfalt von Produkten als Folge des Wettbewerbsdrucks und der gestiegenen Marktorientierung in der jüngeren Vergangenheit massiv zugenommen, was auch zu einer Erhöhung der Komplexität des Produktspektrums geführt hat[2].

Andererseits haben sich die zeitlichen Restriktionen, innerhalb denen sich ein Unternehmen bewegen muss, verschärft. Technologiezyklen haben sich verkürzt; Kunden erwarten ihre Leistungen immer schneller und pünktlicher[3].

Ein Mittel, das zur Beherrschung dieser gesteigerten Komplexität beitragen kann, ist ein geeignetes Management von Produktstruktur und Erzeugnisgliederung. Dies wurde auch von vielen Unternehmen erkannt. So setzen Automobilhersteller seit längerem auf Plattformkonzepte, um Wiederholeffekte einerseits durch Einsatz von Gleichteilen in den verschiedenen Marken und Modellen, andererseits durch Entkopplung der Lebenszyklen verschiedener Baugruppen zu erreichen[4]. Die Firma ADtranz hat ihre Elektro- und Diesellokomotiven in eine Modulstruktur gegliedert, und damit noch weitergehende Vormontage ermöglicht. Zudem konnte durch geeignete Dimensionierung der Schnittstellen zwischen den Vormontageeinheiten der kundenspezifische Anpassungsaufwand verringert und die Lieferzeit verkürzt werden. Die Lokomotiven haben sich vom projektspezifischen Produkt zum kundenspezifisch konfigurierbaren Baukasten gewandelt[5].

---

[1] Vgl. Luczak / Fricker (1997), S. 311.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 1-2, Kaiser (1995), S. 1, Eversheim / Schuh / Caesar (1988), S. 45.

[3] Vgl. Stalk / Hout (1992), sowie Eversheim / Böhmer et al. (1990), S. 10.

[4] Vgl. Stegers (1997), sowie Beck (1998).

[5] Vgl. Steinbrecher (1998), S. 499-500.

Aus Sicht der Praxis verlangt die Auseinandersetzung mit immer komplexeren Strukturen und Problemen nach Mitteln und Methoden zur Komplexitätsbewältigung[1]. Bereits in den siebziger Jahren wurde gefordert, Modellierungswerkzeuge zu entwickeln, die es ermöglichen sollten, komplexe Systemstrukturen systematisch zu handhaben[2]. Ein Instrumentarium, das die systematische Analyse, Bewertung und Beeinflussung aller Aspekte der Produktstruktur ermöglicht, fehlt bis heute weitgehend. In der Literatur sind verschiedene Vorgehensweisen zur Produktstrukturierung beschrieben, bislang fehlt jedoch eine durchgängige Methode, welche alle Aspekte der Produktstrukturierung berücksichtigt.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Ansatz entwickelt, der die systematische Untersuchung, Bewertung und Beeinflussung der Produktstruktur im Anwendungszusammenhang ermöglicht. Ein Produktstrukturmodell soll die Freiheitsgrade aufzeigen, die bei der Strukturierung eines Produktes bestehen. Im weiteren soll dargestellt werden, durch welche Massnahmen die Produktstrukturgrössen beeinflusst werden können, und welche Kenngrössen den Charakter der Produktstruktur wiedergeben.

Dem Praktiker sollen zur Umsetzung von Produktstrukturierungsprojekten und für das Management von Produktstrukturen konkrete Handlungsanweisungen angeboten werden. Dies umfasst sowohl Methodenbausteine für die einzelnen Phasen einer Produktstrukturierung, als auch Kenngrössen zur Überwachung von Veränderungen der Produktstruktur im Verlauf der Zeit.

Die Methodenanwendung wird anhand der "Octeon"-Plattform für Elektrolokomotiven der Firma ADtranz beispielhaft aufgezeigt.

---

[1] Vgl. Luczak / Fricker (1997), S. 313.

[2] Vgl. Ashby (1974), S. 232.

1.3 Forschungsmethodischer Rahmen

Grundlage dieser Arbeit ist die Betriebswirtschaftslehre als Realwissenschaft. Die Betriebswirtschaftslehre beschäftigt sich mit den Problemen der Gestaltung und Lenkung produktiver sozialer Systeme[1]. Ihr Zweck ist die präzise, mitteilbare Beschreibung von subjektiv wahrgenommenen Wirklichkeitsausschnitten, die verallgemeinernde Abstraktion von Einzelfällen, sowie der Entwurf von Handlungsalternativen zur Gestaltung der Wirklichkeit[2].

Die Erkenntnis beginnt nicht mit Wahrnehmungen oder Beobachtung oder der Sammlung von Daten oder von Tatsachen, sondern sie beginnt mit Problemen[3]. Die im Rahmen dieser Arbeit behandelten Problemstellungen stellen einerseits Lücken im bisherigen Wissensstand dar, insbesondere was die analytische Untersuchung der Produktstruktur betrifft. Andererseits werden Fragestellungen aus der Praxis behandelt, beispielsweise die Erarbeitung von Handlungsanweisungen zur optimalen Strukturierung von Produkten[4]. Aus forschungsmethodischer Sicht gliedert sich die Arbeit daher in einen terminologisch-deskriptiven Grundlagenteil und einen handlungswissenschaftlichen Teil[5].

Im ersten Teil werden wesentliche Begriffe definiert und operationalisiert. Anschliessend wird ein Erklärungsmodell für den Begriff der Produktstruktur entwickelt und dessen relevante Dimensionen werden herausgearbeitet. Schliesslich werden Handlungsanweisungen und Methodenbausteine entwickelt, die zur Strukturierung von Produkten einsetzbar sind[6].

Das Vorgehen während dieser Arbeit lehnte sich an die Strategie angewandter Forschung von Ulrich an (Abb. 1–1)[7].

---

[1] Vgl. Ulrich (1984), S. 8.

[2] Vgl. Ulrich / Hill (1979), S. 163-164.

[3] Vgl. Popper (1979), S. 104.

[4] Vgl. Kromrey (1995), S. 19.

[5] Vgl. Ulrich / Hill (1979), S. 163-164.

[6] Vgl. Ulrich / Hill (1979), S. 182.

[7] Vgl. Ulrich (1984), S. 193.

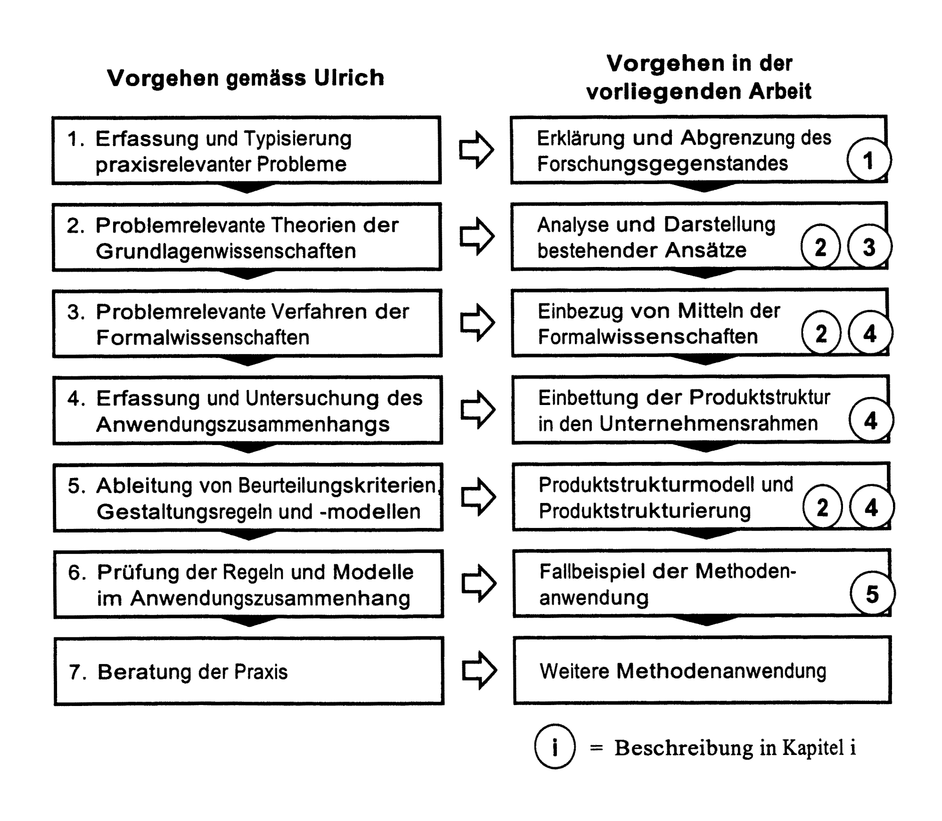


Abb. 1–1: Forschungsmethodische Vorgehensweise

In einem ersten Schritt wurden die praxisrelevanten Probleme der untersuchten Unternehmen im Zusammenhang mit der Produktstruktur zusammengetragen. In der nächsten Phase wurden bestehende Ansätze zur Lösung der Probleme untersucht und auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Parallel dazu wurden für die Problemlösung einsetzbare Verfahren der Formalwissenschaften beurteilt. Nach der Abgrenzung des Anwendungszusammenhangs wurde ein Produktstrukturmodell mit den zugehörigen Möglichkeiten zur Beurteilung und Gestaltung der Produktstruktur erarbeitet. Das Modell und die Gestaltungsregeln wurden an mehreren Fallbeispielen aus der Praxis überprüft und verfeinert.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert. Nach dem einführenden Teil wird in Kapitel 2 ein Erklärungsmodell zur Produktstruktur entwickelt. Kapitel 3 gibt eine Übersicht über bestehende Ansätze zur Produktstrukturierung, bevor in Kapitel 4 bestehende und neue Methodenbausteine zu einem Produktstrukturmanagement zusammengeführt werden. In Kapitel 5 wird die Methodenanwendung im Rahmen einer Fallstudie beschrieben. Im letzten Kapitel werden eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben (Abb. 1–2).

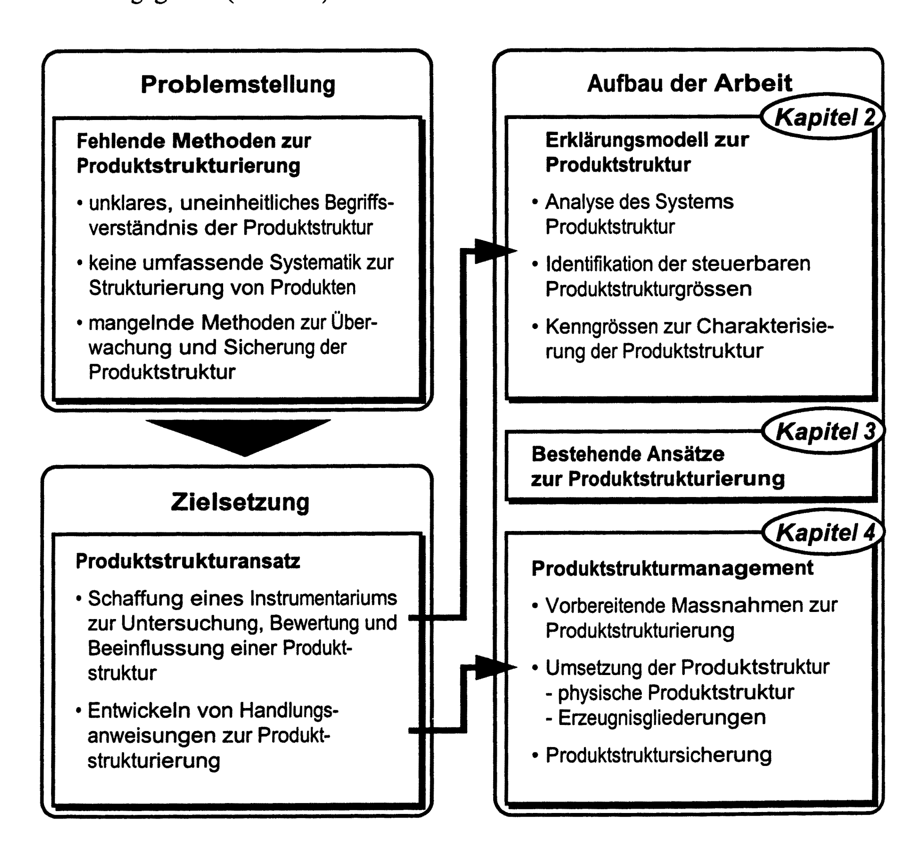


Abb. 1–2: Aufbau der Arbeit

2 Der Produktstrukturbegriff

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, was sich hinter dem Begriff Produktstruktur verbirgt. Nachdem in einem ersten Schritt der Bedeutungsinhalt des Wortes untersucht wird, folgt eine Darstellung der wirtschaftlichen Relevanz der Produktstruktur. Die Erarbeitung eines Modells zur systematischen Untersuchung der Produktstruktur schliesst dieses Kapitel ab.

2.1 Grundlagen und Ordnungsrahmen

2.1.1 Begriffsabgrenzungen

Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt in der Betrachtung der Produktstruktur als Hilfsmittel zur Unternehmensführung. Das Untersuchungsobjekt besteht demnach aus dem Begriff der Produktstruktur, welcher in der Literatur uneinheitlich verwendet wird. Das Produktstrukturverständnis, das dieser Arbeit zugrunde liegt, soll im folgenden bestimmt werden.

Das Wort Produktstruktur setzt sich zusammen aus den Teilbegriffen Produkt und Struktur. Nachfolgend werden zuerst diese beiden Begriffe beleuchtet, bevor der Produktstrukturbegriff definiert wird.

2.1.1.1 Produkt

Gemäss Duden Bedeutungswörterbuch ist ein Produkt etwas, was als Ergebnis menschlicher Arbeit aus bestimmten Stoffen entstanden ist[1]. Diese Definition schliesst immaterielle Produkte wie Computersoftware oder Dienstleistungen aus.

Gablers Wirtschaftslexikon definiert ein Produkt als das Ergebnis der Produktion und Sachziel der Unternehmung, oder auch als Mittel der Bedürfnisbefriedigung. Produkte werden eingeteilt in (materielle) Sachgüter, Dienstleistungen und Energieleistungen.

---

[1] Vgl. Müller (1985), S. 499.

Ein Produkt charakterisiert sich einerseits durch die Kombination materieller und immaterieller Produktanteile, andererseits durch die realisierten Produktfunktionen[1].

Ein weniger eng gefasstes Produktverständnis haben KOTLER / BLIEMEL mit ihrer Definition, wonach ein Produkt sei, was einem Markt angeboten werden kann, um es zu betrachten und zu beachten, zu erwerben, zu gebrauchen oder zu verbrauchen und somit einen Wunsch oder ein Bedürfnis zu erfüllen[2].

Ausgehend von dieser Definition beschreibt SABISCH ein Produkt als eine vom Unternehmen am Markt angebotene Leistung, die durch ihre spezifischen Funktionen geeignet ist, konkrete Bedürfnisse von Kunden nutzbringend zu befriedigen[3]. In diesem Sinne wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit unter dem Begriff Produkt eine Leistung in Form eines Gegenstandes und / oder einer Dienstleistung verstanden. Im folgenden soll jedoch hauptsächlich vom Produkt als materielle Komponente gesprochen werden. Falls immaterielle Produkte oder Dienstleistungen gemeint sind, so werden diese explizit als solche bezeichnet. Mit der Bezeichnung Produkt sind in dieser Arbeit gleichzeitig alle Varianten des Produktes gemeint[4].

2.1.1.2 Struktur

Der Begriff Struktur stammt vom lateinischen Wort *structura,* was soviel bedeutet wie Bauwerk, Zusammenfügung, Ordnung. Im heutigen Sprachgebrauch versteht man unter Struktur die (unsichtbare) Anordnung der Teile eines Ganzen zueinander, oder auch das Gefüge, das aus Teilen besteht, die wechselseitig voneinander abhängen[5].

In der Wissenschaftstheorie versteht man unter Struktur die Menge der die einzelnen Elemente eines Systems verknüpfenden Relationen[6]. Nach diesem Verständnis gehören die Elemente selbst nicht zur Struktur, sondern nur die Relationen, die sie ver-

---

[1] Vgl. o.V. (1997), S. 162.

[2] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 659.

[3] Vgl. Sabisch (1996), Sp. 1439-1440.

[4] Dieses Verständnis des Produktbegriffs ist ähnlich dem der Produktlinie, wie sie durch Kotler / Bliemel, S. 662 definiert wird.

[5] Vgl. Dose et al. (1990), S. 747.

[6] Vgl. Dichtl (1993), S. 3663.

binden. Da in dieser Arbeit sowohl die Elemente als auch die Relationen zwischen ihnen untersucht werden sollen, scheint diese Definition für die weitere Betrachtung wenig sinnvoll.

Der Begriff der Struktur kann, etwas weiter gefasst, auch verstanden werden als Manifestation einer bestimmten Ordnung in einem vorgegebenen Bezugsrahmen. Die zugrundeliegende Ordnung wird dabei durch den Begriff des Systems umschrieben. Es wird unterschieden zwischen physischen, abstrakten und gesellschaftlich-kulturellen Strukturen[1]. Im Rahmen dieser Arbeit werden insbesondere physische und abstrakte Strukturen eines Produktes untersucht.

2.1.1.3 Produktstruktur und Erzeugnisgliederung

ULRICH versteht unter Produktstruktur die Anordnung von funktionalen Elementen, deren Zuordnung zu physischen Komponenten, sowie die Spezifikation der Schnittstellen zwischen physischen Komponenten, welche zusammenspielen[2]. Dabei wird nicht berücksichtigt, dass auch Abhängigkeiten zwischen Komponenten bestehen können, welche keine Schnittstellen aufweisen.

Im weiteren soll die folgende Definition des Produktstrukturbegriffs verwendet werden: Die Produktstruktur widerspiegelt die Zusammensetzung eines Erzeugnisses aus Teilelementen und deren Zuordnung untereinander[3]. Der Ausdruck Produktstruktur wird synonym zum Begriff Produktarchitektur verstanden, wie er im englischen Sprachraum häufiger Verwendung findet.

Die Bauteile, Komponenten oder Baugruppen, aus denen ein Produkt besteht, bilden die Elemente der Produktstruktur. Die Zuordnung der Elemente untereinander erfolgt zum Beispiel durch Schnittstellen oder durch übergeordnete Produktmerkmale.

Die übergeordnete Zusammenfassung von Elementen zu Modulen, Baugruppen, Vormontage- oder Verkaufseinheiten bildet nicht die eigentliche Produktstruktur,

---

[1] Vgl. Jantsch (1994), S. 326.

[2] Vgl. Ulrich (1995), S. 420.

[3] Vgl. Ungeheuer (1986), S. 158; ähnliche Definitionen finden sich auch bei Eversheim (1989 b), S. 145, sowie bei Eversheim / Schuh (Hrsg.) (1996), S. 7–45.

sondern entspricht einer Abbildung derselben für einen ganz bestimmten Zweck und in einem ganz bestimmten Abstraktionsgrad. Diese Abbildungen werden im Rahmen dieser Arbeit Erzeugnisgliederungen genannt.

Der Begriff Erzeugnisgliederung wird in der Literatur vielfältig verwendet und oftmals mit Produktstruktur gleichgesetzt. Nach OTTENBRUCH ist die Erzeugnisgliederung eine Beschreibung der Zuordnung von Einzelteilen zu Baugruppen eines Produktes[1]. Die Elemente dieser Gliederung sind Baugruppen, Unterbaugruppen, sowie Bau- oder Einzelteile[2]. Ziel der Erzeugnisgliederung ist es, die Produktinformationen zu ordnen und zu reduzieren, sowie die Informationsverarbeitung zu vereinfachen.

In dieser Arbeit soll die Erzeugnisgliederung als Abbild der Produktstruktur verstanden werden[3]. Während die Produktstruktur eine Eigenschaft des Produktes selbst darstellt, die durch die Elemente des Produktes und deren Zuordnung untereinander eindeutig beschrieben ist, stellt die Erzeugnisgliederung lediglich eine Sichtweise der Produktstruktur dar. Ein und dieselbe Produktstruktur kann deshalb in mehrere Erzeugnisgliederungen umgesetzt werden.

2.1.2 Die Produktstruktur als Wettbewerbsfaktor

In diesem Abschnitt sollen wirtschaftliche Aspekte der Produktstruktur beleuchtet werden. Die Betrachtungen beziehen sich sowohl auf die Kosten der Produktstruktur, als auch auf die Nutzenstiftung durch die Produktstruktur.

Die wichtigsten kostenbestimmenden Entscheidungen werden in der Phase der Entwicklung und Konstruktion getroffen. Hier werden durch die Umsetzung der Anforderungen aus dem Pflichtenheft in ein Produkt die Produkteigenschaften massgeblich geprägt. Durch diese produktbezogenen Entscheidungen werden andere Bereiche des Unternehmens weitgehend beeinflusst. Beispielsweise werden durch die Gestaltung

---

[1] Vgl. Ottenbruch (1989), S. A1-3. Die Definition stammt aus einer Vorlesung von W. Eversheim an der RWTH Aachen.

[2] Vgl. Dahl (1990), S. 6 und Wiendahl (1989), S. 99-104. Dahl unterscheidet Erzeugnisgliederung und Produktstruktur danach, ob das gegliederte Produkt bereits geometrisch vollständig beschrieben ist oder nicht.

[3] Vgl. Wiendahl (1989), S. 100-101.

des Produktes wichtige Teile des Fertigungsprozesses bestimmt. Untersuchungen haben gezeigt, dass rund 75% der Kosten bereits in der Entwicklung und Konstruktion festgelegt werden (Abb. 2–1)[1].

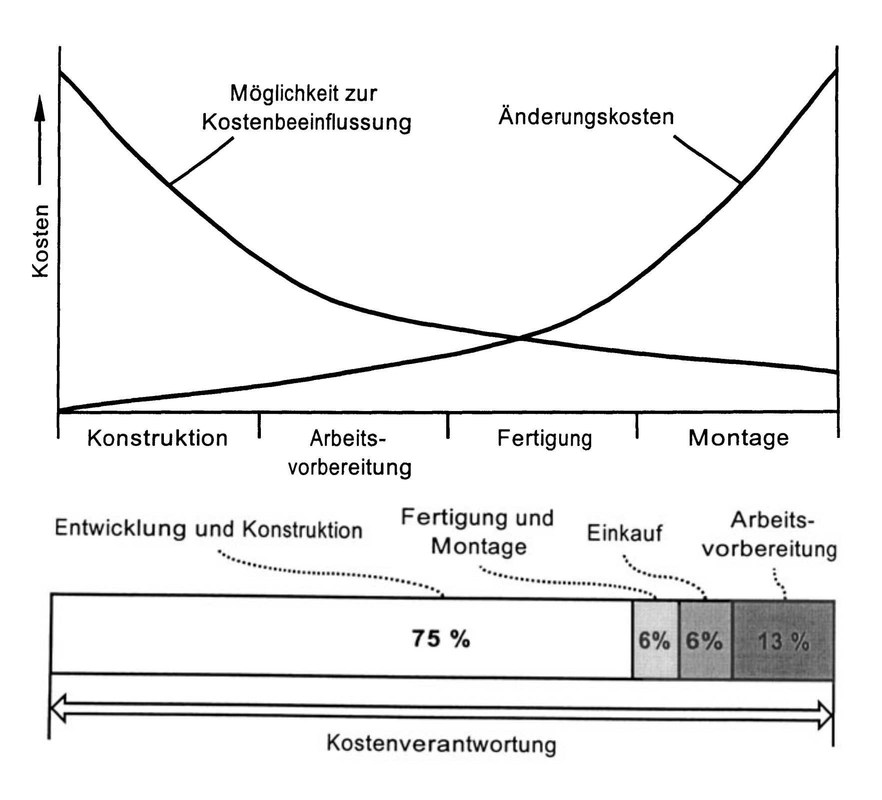


Abb. 2–1: Kostenverantwortung und Kostenbeeinflussung des Konstrukteurs

Eine erhöhte Variantenvielfalt dient oftmals dazu, neue Kunden oder Kundengruppen zu erschliessen, um zusätzliche Erlöse durch ein vergrössertes Volumen zu realisieren. Der Hauptzweck besteht hier darin, eine gegenüber dem Wettbewerb überlegene Nutzenposition zu schaffen. Zusätzliche Varianten dienen oftmals dazu, bisher bestehende Knock-out-Faktoren zu beseitigen. Bei bestehenden Kunden wird durch

[1] Vgl. Dilling (1978), S. 102-104.

Variantenbildung versucht, bei vergleichbarem Kundennutzen eine für das Unternehmen günstigere Kostenposition zu erreichen[1].

Die vielfaltsinduzierte Kostenwirkung basiert auf einer zusätzlichen Beanspruchung der Unternehmensstruktur. Einmalkosten fallen zum Beispiel an um Zeichnungen, Stücklisten und Prüfpläne zu erstellen, um Stammdaten zu erfassen, um Werkzeuge zu beschaffen oder anzupassen, sowie um Verkaufsunterlagen und Dokumentationen anzupassen. Neue Zukaufteile oder Materialien müssen in den Einkaufsstamm aufgenommen werden oder es müssen sogar zuerst Bezugsquellen für diese ermittelt werden[2]. Laufende Kosten entstehen beispielsweise durch die Pflege sämtlicher produktbezogener Daten und Dokumente, durch die vermehrten Umrüstvorgänge und die damit zusätzlich verbundenen Qualitätskosten[3]. Schliesslich müssen für den Kundendienst Ersatzteile bevorratet werden, häufig auch noch Jahre über das Ende des Marktzyklus eines Produktes hinaus. Eine Studie von McKinsey in der Automobilindustrie hat gezeigt, dass bis zu 20% der Gesamtkosten eines Unternehmens durch die Komplexität des Sortiments, also durch Teile- und Variantenvielfalt, entsteht (Abb. 2–2)[4]. Schwierig zu beziffern sind Kosten, die dadurch entstehen, dass exotische Varianten häufig aufgrund von Mängeln in der Kostenrechnung durch Standardausführungen quersubventioniert werden[5].

---

[1] Vgl. Rathnow (1993), S. 13.

[2] Vgl. Roever (1991), S. 255.

[3] Bei vielen Fertigungsprozessen ist die Umrüstung mit zusätzlichem Ausschuss verbunden, so zum Beispiel beim Biegen und Abkanten von Blechen, wo das erste Werkstück eines Loses praktisch immer verloren geht.

[4] Vgl. Rommel et al. (1993), S. 23-25.

[5] Vgl. Schuh / Steinfatt (1993), S. 344-346, Kaiser (1995), S. 31-33, sowie Hichert (1985), S. 235.

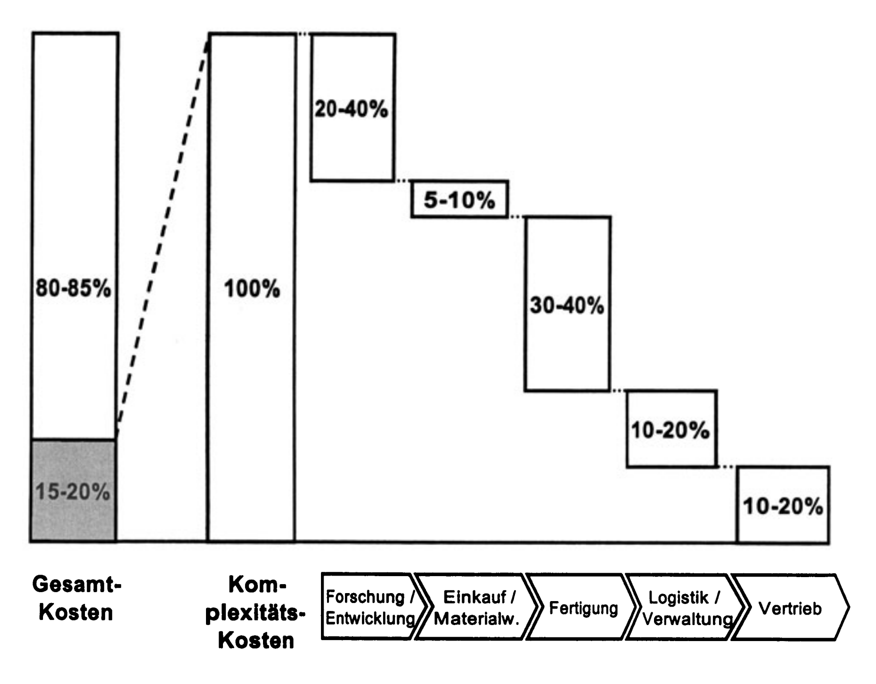


Abb. 2–2: Kostenstruktur eines Automobilherstellers

Durch die Gliederung des Produktes in Baugruppen oder Module lassen sich auf verschiedenen Ebenen Nutzeneffekte erzielen. Durch eine Gliederung in vormontierbare, vorprüfbare Einheiten lassen sich die Kosten der Endmontage und Inbetriebsetzung stark reduzieren und auch die Austauschbarkeit von defekten Teilen ist in der Regel besser[1]. Die Gliederung in Verkaufseinheiten erleichtert die kundenspezifische Konfiguration von Produktvarianten. In der Entwicklung und der Konstruktion wird bevorzugt mit funktionalen Erzeugnisgliederungen gearbeitet.

Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass jede Form der Erzeugnisgliederung nur für bestimmte Belange geeignet ist. Ein Entscheid für ein Prinzip bringt also immer auch Nachteile mit sich. Eine mehrfache, unterschiedliche Gliederung des Produkts in den verschiedenen Unternehmensbereichen bringt zwar hier inhaltlich eine Lösung, bedeutet aber gleichzeitig auch Mehrkosten.

[1] Vgl. dazu zum Beispiel die Arbeiten von Ungeheuer (1986) und Dahl (1990).

Die Standardisierung von Schnittstellen führt zu einer hohen Kombinierbarkeit von Modulvarianten und damit zu einer relativ grossen Variantenvielfalt bei beschränkter Anzahl von Modulvarianten[1]. Die Kosten für projektspezifische Anpassungen im Anlagenbau können dadurch reduziert werden, dass Änderungen nur innerhalb einzelner Module wirksam werden und andere Module nicht beeinflussen. Dieser Grundsatz kann auch zur Entkopplung der Lebenszyklen von verschiedenen Modulen verwendet werden[2]. Sauber abgegrenzte Module erlauben auch ein paralleles Entwickeln von Modulen mit minimalem Absprachebedarf nach dem Einfrieren der Schnittstellen. Dasselbe gilt für das Auslagern von Modulentwicklungen (Outsourcing), wobei auch Konzeptwettbewerbe zwischen mehreren potentiellen Zulieferern möglich sind. Schliesslich bleibt zu erwähnen, dass der Entscheid darüber, ob eine offene Architektur mit standardisierten Schnittstellen oder eine geschlossene Produktstruktur gewählt wird, den Erfolg eines Produktes massgeblich beeinflussen kann[3].

Dem Nutzen von standardisierten Schnittstellen stehen erhöhte Materialeinzelkosten durch tendenziell überdimensionierte Schnittstellen gegenüber. In der Konstruktion entsteht zusätzlicher Aufwand, weil alle abzudeckenden Fälle möglichst weit vorgedacht werden müssen, um nachträgliche Änderungen zu vermeiden.

Die Produktstruktur ist jedoch nicht nur als Kostenfaktor zu betrachten, sondern sie kann auch Quelle von Wettbewerbsvorteilen sein. Eine auf den Verwendungszweck des Produktes abgestimmte Produktstruktur kann zu einem Hebeleffekt führen, der die Leistungsfähigkeit eines Produktes um Faktoren verbessert. Als Beispiel soll hier die Entwicklung des Supercomputers MUSIC[4] an der ETH Zürich erwähnt werden.

Grundidee des Systems ist die Erkenntnis, dass viele Anwendungen der Praxis, die eine sehr hohe Rechenleistung erfordern, ein hohes Potential zur parallelen Verarbeitung aufweisen. Dabei handelt es sich insbesondere um Anwendungen wie die

---

[1] Vgl. Sanchez (1996), S. 125-131.

[2] Bei Gasturbinen für thermische Kraftwerke beträgt der Marktzyklus eines Turbinentyps ungefähr drei Jahre. Die Technologie von Zusatzsystemen, wie die eines Treibstoffversorgungssystems, ist demgegenüber ein Vielfaches langlebiger. Durch standardisierte Schnittstellen kann derselbe Treibstoffblock für mehrere Generationen von Gasturbinen verwendet werden.

[3] Die offene Architektur der Personal Computer von IBM ist mit einer der Gründe, weshalb sich der PC gegenüber dem Macintosh von Apple durchgesetzt hat. Vgl. dazu auch Langlois / Robertson (1992), S. 307-309.

[4] **MU**lti **S**ignal processor system with **I**ntelligent **C**ommunication. Vgl. Gunzinger et al. (1992), S. 1.

Simulation neuronaler Netze, die zeitdiskrete Simulation von Kräften zwischen Atomen innerhalb eines Moleküls[1], oder die Berechnung von Fraktalen wie Mandelbrot-Mengen[2]. Anders als viele andere Supercomputer, verfügt MUSIC nicht über einen einzigen Prozessor mit extrem hoher Rechenleistung, sondern über mehrere Standard-Digitalsignalprozessoren (DSP), die durch eine intelligente Kommunikation verbunden sind. Unter anderem weil die Kosten eines Prozessors stark überproportional zu dessen Rechenleistung ansteigen, konnte mit MUSIC sowohl eine überlegene Kostenposition, als auch überragende Rechenleistung erreicht werden (Tab. 2–1).

System	Anzahl Prozessoren	Rechenleistung		Preis	Preis/MFlop
	[Stk.]	[MCUPS] *	[MFlops] **	[kUSD]	[USD]
PC 80486 / 50 MHz	1	0.47	2.8	1	307
SUN Sparc10	1	1.1	6.6	10	1515
Alpha WS 150MHz	1	3.2	19.2	30	1562
Parsytec Hypercluster	64	9.9	59.4	190	3199
Cray Y-MP C90	1	65.6	393.6	15'000	38'110
NEC SX-3/22	1	130	780	30'000	38'462
MUSIC-63	***63***	***330***	***1980***	***240***	***121***

** MCUPS:* *Millionen Verbindungsaufdatierungen pro Sekunde bei neuronalen Netzen*
*** MFlops:* *Millionen Fliesskomma-Operationen pro Sekunde*

Tab. 2–1: Vergleich verschiedener Computersysteme[3]

Dieses Beispiel zeigt, dass ein kleines Team von Forschern durch geschickte Gestaltung der Produktstruktur in sehr kurzer Zeit ein Supercomputer-System auf den Markt bringen konnte, welches Systeme von Grossunternehmen mit hunderten von Entwicklern sowohl leistungs-, als auch kostenmässig um Längen schlägt. Die betreffenden Forscher der ETH Zürich gründeten die Supercomputing Systems AG, welche die Rechner seit längerem erfolgreich vertreibt.

---

[1] Vgl. Gunzinger et al. (1992), S. 4-6.

[2] Vgl. Müller et al. (1992), S. 59.

[3] Zusammengestellt aus Gunzinger et al. (1992), S. 6, sowie unveröffentlichten Unterlagen der Supercomputing Systems AG, Zürich.

Die bisher dargestellten Gedanken beziehen sich hauptsächlich auf den Fall der Strukturierung eines neuen Produktes. Die Situation, dass die Produktstruktur von Grund auf und ohne Vorgaben neu entworfen werden kann, tritt in der Praxis relativ selten auf. Häufig muss aus wirtschaftlichen oder technischen Überlegungen eine bestehende Produktstruktur angepasst oder geändert werden. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass trotz der Wichtigkeit einer geeigneten Produktstruktur eine Produktstrukturierung nicht immer sinnvoll ist[1]. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die durch eine Produktstrukturierung erzielbaren Effekte so klein sind, dass sie die für eine Strukturierung nötigen Aufwendungen nicht zu decken vermögen. Dabei gilt es jedoch zu Berücksichtigen, dass eine Abschätzung des Nutzens oft schwierig ist. Durch die gängige Zuschlagskalkulation werden zudem oft falsche Einschätzungen des Nutzens von Massnahmen provoziert[2].

In jedem Fall muss eine Beurteilung möglichst ganzheitlich erfolgen, weil der Gesamtnutzen oft die Summe der Einzelnutzen in den Bereichen erheblich übersteigt[3]. Umgekehrt kann bei isolierter Betrachtung einzelner Bereiche eine punktuelle Verbesserung erreicht werden, die sich bei gesamthafter Betrachtung als Verschlechterung entpuppt.

2.1.3 Fazit: Notwendigkeit eines Produktstrukturmodelles

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass die Produktstruktur eine Grösse darstellt, die einen bedeutenden Einfluss auf den Unternehmenserfolg haben kann. Deshalb muss der Praxis ein Mittel zur Verfügung gestellt werden, um alle Aspekte der Produktstruktur handhaben zu können. Eine Produktstruktur stellt ein komplexes Gebilde dar, das sich nicht durch eine einzige skalare Grösse vollständig beschreiben lässt. Dieser Umstand erfordert ein mehrdimensionales Produktstrukturmodell,

---

[1] Boothroyd et al. (1994), S. 12-17, beschreiben Fälle, in denen das *Design for Manufacture and Assembly*-Konzept nicht uneingeschränkt anwendbar ist und nennen Ursachen und Fehler, welche die Einführung des Konzeptes zum Scheitern bringen können. Diese Situationen lassen sich sinngemäss auch auf eine Produktstrukturierung anwenden.

[2] Vgl. Steinfatt / Schuh (1992), S. 58-64.

[3] Die Änderung der Produktstruktur in einem Projekt, das der Verfasser in einem Unternehmen durchgeführt hat, führte dazu, dass nicht nur wie erwartet das Gleichteilevolumen erhöht werden konnte, sondern dass durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren eine auftragsneutrale Vorfertigung ermöglicht wurde. Dadurch konnten die Lieferzeiten um über 30% reduziert werden.

welches Aussagen über das Verhalten der Produktstruktur zulässt. Nachfolgend werden Anforderungen an ein Produktstrukturmodell aufgezeigt und bestehende Produktstrukturansätze daran gespiegelt.

2.2 Erklärungsmodell zur Produktstruktur

Ausgehend von den Anforderungen, die an einen Produktstrukturansatz gestellt werden müssen, werden die bislang in der Literatur vorhandenen Ansätze beschrieben, und die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes wird herausgearbeitet.

2.2.1 Anforderungen an einen ganzheitlichen Produktstrukturansatz

In diesem Abschnitt sollen die Anforderungen, die sich an einen ganzheitlichen Produktstrukturansatz ergeben, dargestellt werden. Dabei soll sowohl auf den Inhalt, als auch auf den erwarteten Nutzen eines Ansatzes eingegangen werden.

Basis eines ganzheitlichen Produktstrukturansatzes bildet die Definition des Begriffs Produktstruktur. Die Definition muss die konstituierenden Merkmale der Produktstruktur enthalten und eine eindeutige und klare Abgrenzung gegenüber ähnlichen Begriffen ermöglichen.

Im weiteren muss ein ganzheitlicher Produktstrukturansatz dazu befähigen, die Struktur eines Produktes eindeutig zu charakterisieren. Das heisst, dass ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden muss, das eine eindeutige Beschreibung der Struktur zulässt. Als Messgrössen kommen einerseits diskrete Grössen in Frage, deren Zuordnung eindeutig erfolgen kann. Andererseits können kontinuierliche Grössen eingesetzt werden, sofern diese messbar sind. Zu vermeiden sind Messgrössen, bei denen Ungenauigkeit durch Interpretation geschaffen wird, wie zum Beispiel diskrete Grössen mit überlappenden Zuordnungsbereichen.

Ein Produktstrukturansatz soll aufzeigen, durch welche Faktoren die Produktstruktur gesteuert werden kann. Durch diese Lenkungsgrössen soll eine im spezifischen Anwendungszusammenhang optimale Produktstruktur erreicht werden können.

Der Ansatz soll Gestaltungsmassnahmen zur Verfügung stellen, mit deren Hilfe die Sollwerte der Produktstruktur erreicht werden können. Dabei soll für jede Massnahme transparent werden, welchen Effekt ihr Einsatz auf die Produktstruktur hat.

In den folgenden Abschnitten soll untersucht werden, inwieweit die in der Literatur beschriebenen Produktstrukturansätze dem genannten Anforderungsprofil entsprechen. Zu diesem Zweck werden die bestehenden Ansätze in mehrere Kategorien gegliedert. Im Kapitel 2.2.2 werden Ansätze besprochen, die als Definitionen oder Beschreibungsmodelle der Produktstruktur aufgefasst werden können. Anschliessend werden Typologisierungsansätze behandelt, die verschiedene Kategorien von Produktstrukturen definieren.

2.2.2 Bestehende Produktstrukturmodelle

Produktstrukturmodelle lassen Aussagen über das Verhalten der Produktstruktur in bestimmten Situationen zu oder zeigen Zusammenhänge zwischen Produktstrukturgrössen auf. Sie dienen dem vertieften Verständnis der Produktstruktur.

2.2.2.1 Das Produktstrukturmodell von DAHL

Der Aufbau eines Produktstrukturmodells nach DAHL geschieht in drei Schritten. Nach einer funktionalen Produktstruktur wird eine Beziehungsstruktur definiert und danach die Montagestruktur abgeleitet[1].

Die funktionale Strukturierung wird ausgehend von der Gesamtfunktion des Produktes vorgenommen. Die Gesamtfunktion wird in einer ersten Hierarchiestufe in Teilfunktionen zerlegt. Die Teilfunktionen werden auf weiteren Hierarchiestufen so lange weiter untergliedert, bis die Gesamtfunktion als Hierarchie von Elementarfunktionen dargestellt werden kann. Elementarfunktionen sind Funktionen, die als solche vordefiniert wurden, oder die durch ein bereits realisiertes Bauteil beschrieben werden

[1] Vgl. Dahl (1990), S. 56-73.

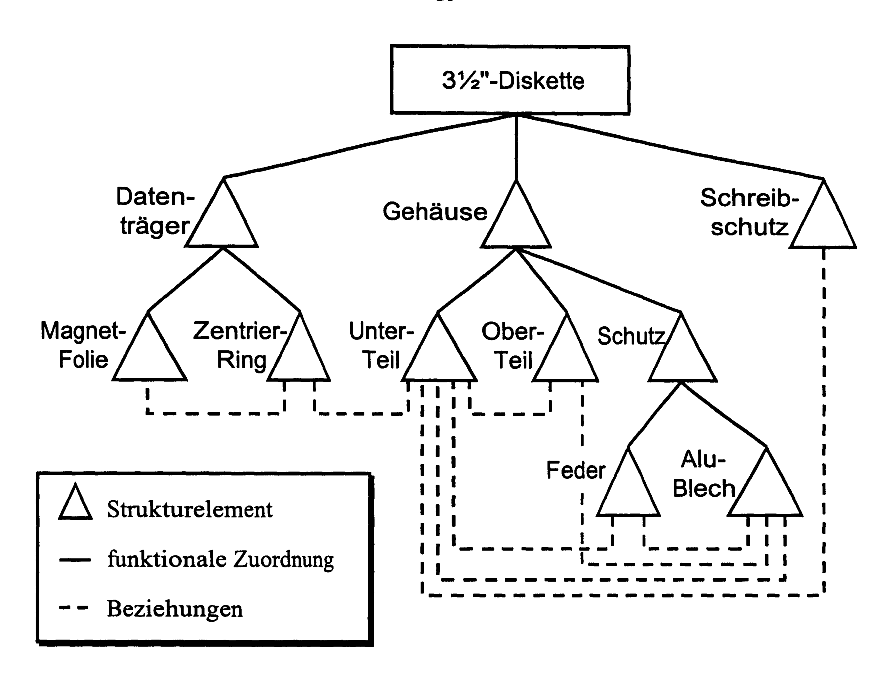


Abb. 2–3: Funktionsorientierte Struktur mit überlagerter Beziehungsstruktur

können[1]. Diese funktionale Struktur enthält noch keine Informationen darüber, welche Zusammenhänge und Beziehungen zwischen den einzelnen Funktionsträgern bestehen. Diese Information wird der funktionalen Struktur durch die Beziehungsstruktur überlagert. Für jedes Strukturelement werden die Beziehungen zu den anderen Strukturelementen definiert. Dadurch werden die Elemente zu Beziehungspaaren zusammengefasst. Abb. 2–3 zeigt die funktionsorientierte Struktur mit überlagerter Beziehungsstruktur für eine 3½"-Diskette[2].

Aus der funktionsorientierten Struktur mit überlagerter Beziehungsstruktur lässt sich eine Montagestruktur ableiten. Jedem Strukturelement wird eine Montagepriorität zugeordnet, die aufgrund der Anzahl Beziehungen zu anderen Elementen bestimmt wird. Die Montagestruktur entspricht einer Erzeugnisgliederung nach Montage-

[1] Vgl. Dahl (1990), S. 47.

[2] Quelle: Darstellungsweise nach Dahl (1990), S. 59.

gesichtspunkten. Sie ist also nicht Teil der Produktstruktur, sondern eine Sichtweise derselben.

DAHL entwickelt weiter eine Methode, wie die optimale Montagereihenfolge rechnergestützt ermittelt werden kann. Zudem bietet die Methode eine Unterstützung zum Auffinden von in Vormontageschritte verlagerbaren Teilen und zur Bildung von Integralteilen. Durch beide Massnahmen soll die Anzahl der Montageschritte reduziert werden.

Das Produktstrukturmodell von DAHL hat zum Ziel, eine geeignete Montagestruktur zu ermitteln. Entsprechend liegt das Schwergewicht nicht auf der eigentlichen Produktstruktur. Im Modell von DAHL sind weder die Elemente in ihrer möglichen Vielfalt beschrieben, noch lassen sich aus den dargestellten Beziehungen hinreichende Aussagen über die Ausgestaltung der Schnittstellen machen. Das Modell ist deshalb als Erklärungsmodell der Produktstruktur nicht hinreichend.

2.2.2.2 Die Produktstruktur als modulares System

BALDWIN / CLARK sprechen im Zusammenhang mit der Produktstruktur von modularen Systemen. Modulare Systeme werden als Zusammensetzung von Einheiten (oder Modulen) verstanden, die unabhängig voneinander konstruiert werden, aber in einem zusammengehörigen Ganzen funktionieren[1].

BALDWIN / CLARK unterteilen die Produktstrukturinformation in zwei Kategorien: sichtbare Konstruktionsregeln und versteckte Konstruktionsparameter. Eine sichtbare Konstruktionsregel ist Information, die schnittstellenrelevant ist. Das heisst, der Modulentwickler muss sie berücksichtigen, um ein einheitliches Schnittstellendesign zu gewährleisten. Versteckte Konstruktionsparameter sind Informationen, die lediglich in einem einzelnen, unabhängigen Modul relevant sind, und die keinerlei Auswirkungen auf die Schnittstellen zu anderen Modulen haben.

Diese Definition zeigt, dass jedes Produkt als modulares System aufgefasst werden kann, bei dem einfach das Verhältnis von versteckter zu sichtbarer Information ver-

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1997), S. 86.

schieden gross ist. Dies deckt sich auch mit dem Verständnis, dass Modularität nicht eine duale (ein Produkt ist modular oder nicht modular), sondern eine kontinuierliche Grösse ist (jedes Produkt ist mehr oder weniger stark modular). Im Sinne der Produktstrukturdefinition von UNGEHEUER[1] ist insbesondere die sichtbare Information interessant, die von BALDWIN / CLARK in drei Kategorien eingeteilt wird:

- ***Architektur:*** Sie spezifiziert, welche Elemente Teil des Systems sind und welches ihre Funktion ist.
- ***Schnittstellen:*** Sie beschreiben im Detail wie die Module zusammenarbeiten werden. Dies umfasst auch, wie die Module zusammenpassen, verbunden sind, und wie sie kommunizieren.
- ***Standards:*** Legen fest, wie geprüft werden kann, ob ein Modul zum System passt.

BALDWIN / CLARK fokussieren sich stark auf die Problematik der Schnittstellen zwischen Modulen von Produkten und Prozessen. Die Problematik der Vielfalt der Module als weiterer Aspekt der Produktstruktur wird etwas in den Hintergrund gedrängt. Insbesondere erlaubt das Modell aber wenig Aussagen über Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern.

2.2.2.3 Produktfamilienarchitektur

TSENG / JIAO beschreiben ein Konzept zur Entwicklung von Produkten für die massgeschneiderte Massenfertigung. Die allen Produkten eines Unternehmens zugrunde liegende Plattform wird Produktfamilienarchitektur (PFA) genannt. Ziel der PFA ist es, die Wiederverwendbarkeit von Produktteilen und Prozessen zu erhöhen[2]. Die PFA wird durch drei verschiedene Sichten repräsentiert. Die funktionale Sicht steht für die Kundensicht des Produktes und wird durch funktionale Merkmale dargestellt. Die Verhaltenssicht entsteht durch Anwendung einer Technologie zur Umsetzung der funktionalen Merkmale und wird durch technische Parameter dargestellt. Die strukturelle Sicht enthält Informationen darüber, wie ein Produkt physisch umgesetzt wird. Die Darstellung in Komponenten und Montageeinheiten ist stark mit der Konstruktion des Produktes verwoben.

---

[1] Vgl. Ungeheuer (1986), S. 158.

[2] Vgl. Tseng / Jiao (1998), S. 3.

Die drei Sichten werden überlagert durch die zwei Ebenen *Modularität* und *Gemeinsamkeit.* Durch Modularität wird versucht ein System aufzuteilen in unabhängige Einheiten oder Module[1]. Gemeinsamkeit ist die Eigenschaft, welche den Unterschied zwischen einer PFA und einem einzelnen Produkt darstellt. Dabei geht es um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen verschiedenen Varianten desselben Moduls. Eine Klasse von Produkten (eine Produktfamilie) wird beschrieben durch dieselbe Modularität, während Produktvarianten durch unterschiedliche Modulvarianten entstehen.

Der interessante Ansatz von TSENG / JIAO zeigt die verschiedenen Sichtweisen der Produktstruktur innerhalb eines Unternehmens auf. Zur systematischen Untersuchung der Beeinflussungsmöglichkeiten der Produktstruktur ist jedoch eine den verschiedenen Sichten zugrunde liegende Basisstruktur zu identifizieren.

2.2.3 Neues Produktstrukturmodell

Aus den genannten Gründen genügen die gezeigten Ansätze nicht, um alle Aspekte der Produktstruktur hinreichend zu beschreiben. Deshalb wird in den folgenden Abschnitten ein umfassendes und ganzheitliches Erklärungsmodell entwickelt.

2.2.3.1 Abgrenzung des Anwendungszusammenhangs

Das Produktstrukturmodell bildet ein Beschreibungsmodell[2], das sich mit der Produktstruktur als physische Eigenschaft des Produktes befasst. Es bildet eine Methode zur Erfassung der am Produkt feststellbaren produktstrukturrelevanten Attribute.

Die Basisabbildung der physischen Produktstruktur ist eine neutrale Abbildung mit geringstmöglichem Aufwand. Die Überführung der Basisabbildung in Erzeugnisgliederungen für die verschiedenen Anspruchsgruppen in einem Unternehmen wird im Kapitel 4.2 besprochen.

---

[1] Vgl. Tseng / Jiao (1998), S. 5.

[2] Vgl. Dyckhoff (1992), S. 26.

2.2.3.2 Die Dimensionen des Produktstrukturmodelles

2.2.3.2.1 Konstituierende Grössen der Produktstruktur

Wie bereits an früherer Stelle erwähnt wurde, widerspiegelt die Produktstruktur die Zusammensetzung eines Produktes aus Teilelementen und deren Zuordnung untereinander. Offen ist bislang die Frage, was unter "Teilelementen" und "Zuordnungen" zu verstehen ist, und wie die Produktstruktur erfasst werden kann. In diesem Teilabschnitt sollen diese Aspekte näher untersucht werden.

Ein Produkt lässt sich beschreiben durch einen Satz von Merkmalen, von denen für eine Produktvariante jedes eine bestimmte Ausprägung annimmt. Ein Produkt ist erst dann vollständig beschrieben, wenn alle Eigenschaften des Produktes so erfasst sind, dass das Produkt ohne weitere Angaben hergestellt werden kann. Dies entspricht einer Abbildung des Produktes durch einen genau definierten Punkt im Vektorraum, der durch die Gesamtheit aller Merkmale aufgespannt wird. Jedes Merkmal kann als Koordinatenachse verstanden werden. Die Ausprägung des Merkmals entspricht der Lage auf der Achse, also der Koordinate[1].

Nicht alle diese produktbezogenen Informationen sind jedoch Produktstrukturinformationen. Es stellt sich deshalb die Frage, wie produktstrukturbezogene Merkmale gegenüber den anderen abgegrenzt werden können.

Ein Merkmal ist dann wesentlich für die Produktstruktur, wenn es entweder die Elemente (deren Vielfalt), oder die Zuordnung der Elemente zueinander beeinflusst. Bildet man die Produktmerkmale nach diesen zwei Dimensionen ab, so ergeben sich vier Felder (Abb. 2–4).

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–5.

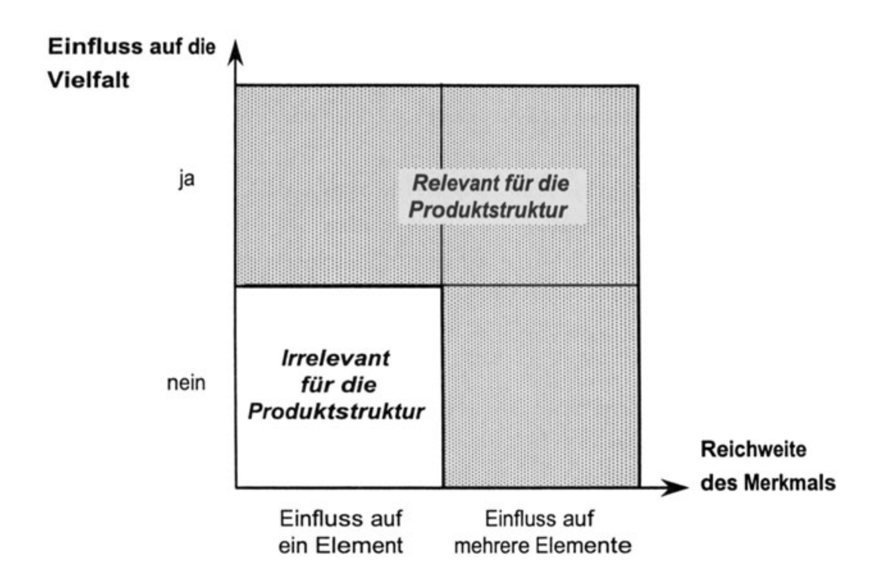


Abb. 2–4: Bedeutung von Produktmerkmalen für die Produktstruktur

Der Einfluss eines Merkmals auf mehrere Elemente kann auf verschiedene Arten erfolgen. Einerseits kann das Merkmal die Schnittstelle zweier benachbarter Elemente betreffen, was einer Beeinflussung der gegenseitigen Zuordnung der Elemente gleichkommt. Andererseits kann ein übergeordnetes Merkmal mehrere Elemente und deren Zuordnung untereinander in gleicher Weise beeinflussen, ohne dass eine direkte Verbindung zwischen den Elementen besteht. Bei der Herstellung eines Automobils wird die rechte Tür üblicherweise dieselbe Farbe aufweisen wie die linke. Es besteht also eine Zuordnung der Türvarianten der einen Seite zu den Türvarianten der anderen, ohne dass physisch eine direkte Verbindung zwischen den Türen besteht.

Eine einfache Form einer Produktstruktur, die sowohl Teilelemente als auch Zuordnungen enthält, ist diejenige eines Produktes, welches aus zwei Elementen und deren Zuordnung zueinander besteht. Als einfaches Beispiel hierfür kann eine Stecknadel aus Stahl mit einem Kunststoffkopf dienen. Kopf und Stift bilden die Elemente, die jeweils in verschiedenen Varianten vorkommen (Abb. 2–5). Vom Stift sind verschiedene Längen und Durchmesser erhältlich, vom Kopf verschiedene Farben und Grössen. Die möglichen Kombinationen der Elementvarianten, also die Zuordnungen, sind durch Verbindungslinien dargestellt.

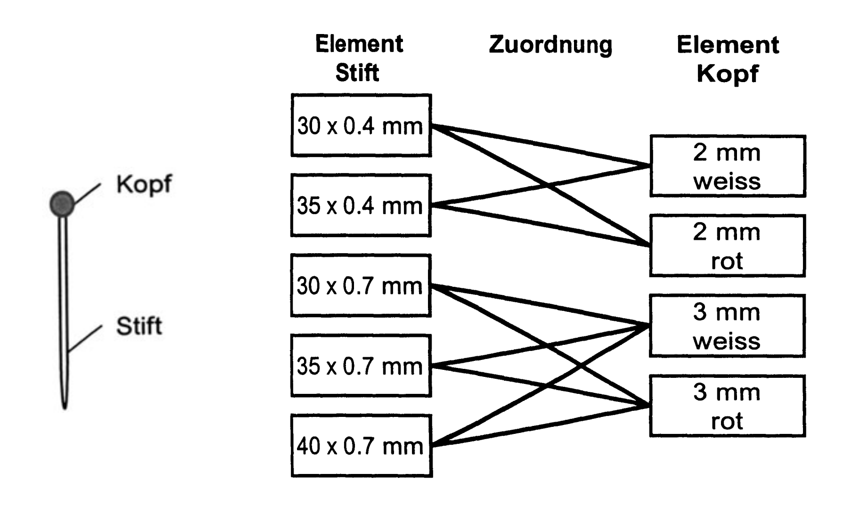


Abb. 2–5: Elemente und Zuordnungen am Beispiel von Stecknadeln

Bereits bei diesem einfachen Beispiel zeigt sich, dass die Darstellung der Zuordnungen in dieser Form schnell unübersichtlich wird. Es bietet sich deshalb an, die Zuordnungen in einer besser überschaubaren Form darzustellen. Aus den Zuordnungen wird eine Schnittstelle, die, genau wie die Elemente, durch Merkmale und Ausprägungen beschrieben werden kann. Neu werden die Varianten der Elemente auf Varianten der Schnittstellen zugeordnet. Dadurch kann die Anzahl der Kreuzungen der Zuordnungen vermindert werden (Abb. 2–6). Ausserdem zeigt sich bei näherer Betrachtung, dass die reine Zuordnung von Elementen zueinander noch nicht die gesamte notwendige Information enthält. Die Gestaltung der Schnittstelle bildet nämlich einen weiteren Freiheitsgrad in der Produktstruktur. Es wäre zum Beispiel denkbar, die Schnittstelle zwischen Kopf und Stift immer einheitlich auf 0.4 mm Durchmesser zu dimensionieren. Dies würde dazu führen, dass jede der Stiftvarianten mit jeder Variante des Kopfes kombinierbar ist[1].

[1] Die Stifte mit 0.7 mm Durchmesser müssten am hinteren Ende verjüngt sein, um in die 0.4 mm grossen Löcher der Köpfe zu passen. Ob dieses Vorgehen in irgend einem Fall Sinn machen könnte oder nicht, soll an dieser Stelle nicht untersucht werden. Es geht lediglich darum, die Möglichkeiten der Strukturierung darzustellen.

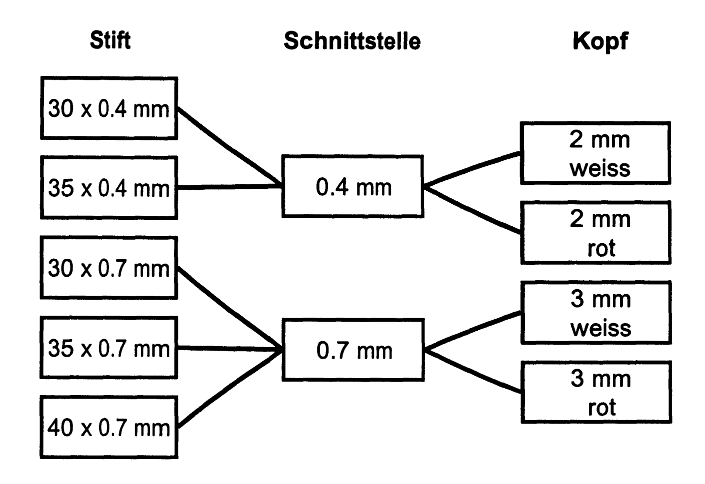


Abb. 2–6: Darstellung der Produktstruktur mit Elementen und Schnittstellen

Eine Produktstruktur besteht also in dieser erweiterten Form aus Elementen und Elementvarianten. Die Elementvarianten werden entweder Schnittstellenvarianten zugeordnet, oder durch übergeordnete Merkmale mit anderen Elementen verbunden, zu denen keine physische Verbindung besteht.

2.2.3.2.2 Elemente

Ein Produkt besteht aus einer Anzahl Elemente[1], von denen jedes eine bestimmte Anzahl Varianten aufweist. Um diese Elementvarianten voneinander unterscheidbar zu machen, werden ihre Eigenschaften durch Merkmale und Ausprägungen beschrieben. Die Beschreibung des im Beispiel gezeigten Stifts der Stecknadel kann mit den Merkmalen und Ausprägungen in Tab. 2–2 erfolgen[2].

---

[1] Elemente können einzelne Bauteile, aber auch Baugruppen oder ganze Produkte sein.

[2] Die Beschreibung durch Merkmale und Ausprägungen entspricht der Variantenbaummethode von Schuh (1989).

Merkmale	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3
Stiftlänge	30 mm	35 mm	40 mm
Stiftdurchmesser	0.4 mm	0.7 mm	

Tab. 2–2: Merkmale und Ausprägungen zur Beschreibung des Stiftes

Zur Beschreibung der Elemente werden nicht alle Merkmale verwendet, sondern nur so viele, wie zur eindeutigen Unterscheidung der Varianten benötigt werden. Bei den Stiften könnte beispielsweise als zusätzliches Merkmal die Dicke der Chromschicht angegeben werden. Diese ist jedoch direkt mit dem Stiftdurchmesser gekoppelt und führt deshalb zu keiner zusätzlichen Stiftvariante. Anders sähe es aus, wenn die Stifte mit 0.7 mm Durchmesser mit verschiedenen Verchromungen verfügbar wären. Die Kopplung an den Durchmesser wäre dadurch aufgehoben, und die Verchromung müsste als zusätzliches Merkmal aufgenommen werden, um die grössere Zahl der Varianten des Stiftes eindeutig unterscheidbar zu machen.

Die Elemente werden also nur soweit beschrieben, wie dies zur eindeutigen Unterscheidung aller Varianten notwendig ist. Dies führt dazu, dass zur Beschreibung der Elemente verschiedene Möglichkeiten bestehen, die aus Sicht der Produktstruktur äquivalent sind. Zur vollumfänglichen Beschreibung des Elementes, wie sie für den Entwickler nötig wäre, sind eine Vielzahl weiterer Parameter nötig[1]. Die Produktstrukturbeschreibung der Elemente stellt also eine Auswahl aus der Menge aller produktbeschreibenden Parameter dar.

Die Elemente lassen sich einteilen in Muss- und Kannelemente. Musselemente sind immer in irgendeiner Ausführung notwendig, damit das Produkt seine Funktion erfüllt. Eine Stecknadel ohne Stift ist als Stecknadel nicht brauchbar. Im Gegensatz dazu ist ein Produkt auch dann funktionsfähig, wenn ein Kannteil weggelassen wird. Für bestimmte Anwendungen ist es denkbar, dass eine Stecknadel auch ohne Kopf eingesetzt werden kann. Für die Produktstruktur hat das zur Folge, dass weitere Produktvarianten hinzukommen, die nur dadurch entstehen, dass ein Kannteil weggelassen wird.

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–4 ff.

Weiter lassen sich zuordnungsrelevante und zuordnungsneutrale Merkmale der Elemente unterscheiden. Zuordnungsneutrale Eigenschaften eines Elementes können beliebig verändert werden, ohne dass dies einen Einfluss auf andere Elemente hat. Die Länge des Stiftes der Stecknadel ist zuordnungsneutral, ebenso wie die Farbe des Stecknadelkopfes. Zuordnungsrelevante Merkmale hingegen können nicht isoliert betrachtet werden. Jede Änderung dieser Eigenschaften führt zu einer Beeinflussung anderer Elemente. Wird beispielsweise der Durchmesser des Stiftes auf der ganzen Länge verändert, so wird dadurch automatisch der Kopf beeinflusst: Das Loch des Kopfes muss ebenfalls angepasst werden, damit der Stift noch passt. Dies hat neben konstruktiven Folgen auch organisatorische. Der Abstimmungsaufwand zwischen Entwicklungsteams steigt mit jeder gegenseitigen Beeinflussung an.

Ein weiterer Unterschied der Merkmale betrifft die Art ihrer Ausprägungen. Viele Merkmalsausprägungen sind diskrete Werte, wie beispielsweise blau, gelb, rot und grün diskrete Ausprägungen des Merkmals Farbe sind. Andere Merkmale weisen ein kontinuierliches Spektrum von Ausprägungen auf. Ein Widerstand kann bei der Berechnung einer elektronischen Schaltung einen beliebigen Wert annehmen. Natürlich ist es auf Grund dieser unendlichen Vielfalt nicht möglich, jeden dieser Werte als Bauteil anzubieten. Vielmehr werden genormte diskrete Werte angeboten, welche eine gewisse Bandbreite abdecken. Der Entwickler entscheidet sich also nach der Berechnung eines exakten Wertes für den auf dem Markt erhältlichen Wert, der seinen Anforderungen am nächsten kommt.

Im Fall von komplexeren Produkten stellt sich die Frage, welcher Umfang überhaupt als Element der Produktstruktur angesehen werden soll. Würde man beispielsweise bei einem Passagierflugzeug jedes Bauteil wie einzelne Nieten und einzelne Schrauben als Element betrachten, so wäre die Abbildung der Produktstruktur eine vom Aufwand her kaum zu bewältigende Aufgabe. Aus praktischen Gründen kann es sinnvoll sein, mehrere Bauteile zu einem Element zusammenzufassen. Die physische Produktstruktur wird für die Basisabbildung in eine vereinfachte Form übergeführt[1]. Im Fall des Passagierflugzeuges könnte zum Beispiel das Seitenruder ein Element sein, das seinerseits aus einer Vielzahl von Einzelteilen wie Blechen, Nieten und so weiter besteht.

---

[1] Vgl. Kapitel 2.1.1.2.

Nach welchen Kriterien sollen Einzelteile zu Elementen zusammengefasst werden? In der Praxis stellt sich häufig das Problem, dass die Beschreibung der Produktstruktur aufgrund der Variantenzahl sehr umfangreich wird. Die Zielsetzung der Zusammenfassung besteht deshalb darin, den Aufwand zur Beschreibung der Produktstruktur in der Basisabbildung möglichst gering zu halten. Dies kommt der Forderung gleich, dass zur Beschreibung des Produktes eine möglichst kleine Anzahl von Teilenummern zu verwenden ist. Am Beispiel der Stecknadel soll gezeigt werden, wie diese Forderung zu erfüllen ist. Die Stecknadel als Ganzes könnte als ein einziges Element aufgefasst werden. Die Beschreibung aller möglichen Elementvarianten ist in Tab. 2–3 dargestellt. Zur vollständigen Beschreibung aller Elementvarianten wären also zehn Nummern nötig.

Nummer	Bezeichnung	Teileverwendung
1	Stecknadel	30mm x 0.4mm, weiss, 2mm
2	Stecknadel	35mm x 0.4mm, weiss, 2mm
3	Stecknadel	30mm x 0.4mm, rot, 2mm
4	Stecknadel	35mm x 0.4mm, rot, 2mm
5	Stecknadel	30mm x 0.7mm, weiss, 3mm
6	Stecknadel	35mm x 0.7mm, weiss, 3mm
7	Stecknadel	40mm x 0.7mm, weiss, 3mm
8	Stecknadel	30mm x 0.7mm, rot, 3mm
9	Stecknadel	35mm x 0.7mm, rot, 3mm
10	Stecknadel	40mm x 0.7mm, rot, 3mm

Tab. 2–3: Elementbeschreibung bei Zusammenfassung

Wird die Stecknadel aufgeteilt in zwei Elemente, so ergibt sich die in Tab. 2–4 dargestellte Beschreibung aller benötigten Elementvarianten. Zur vollständigen Beschreibung der Varianz sind nur neun Nummern notwendig. Die Aufteilung in zwei Elemente ist in diesem Fall effizienter als die Zusammenfassung zu einem Element.

Nummer	Bezeichnung	Teileverwendung
1	Stift	30mm x 0.4mm
2	Stift	35mm x 0.4mm
3	Stift	30mm x 0.7mm
4	Stift	35mm x 0.7mm
5	Stift	40mm x 0.7mm
6	Kopf	weiss, 2mm
7	Kopf	rot, 2mm
8	Kopf	weiss, 3mm
9	Kopf	rot, 3mm

Tab. 2–4: Beschreibung der Elemente bei Zerlegung der Stecknadel

Als Gegenbeispiel lässt sich die Beschreibung von Schrauben mit zugehöriger Mutter anfügen: Die Schraube wird in den Grössen M4, M5, und M6 je mit einer Länge von 30 mm oder 40 mm eingesetzt. Die Art der Mutter hängt nur vom Schraubendurchmesser ab. Bei einer Aufteilung in zwei Elemente müssen sechs Varianten der Schraube und drei Varianten der Mutter beschrieben werden. Dazu wären neun Teilenummern notwendig. Wird die Schraube inklusive Mutter als ein Element betrachtet, so müssen wiederum sechs Schrauben beschrieben werden. Allerdings brauchen die Muttern nun nicht mehr beschrieben zu werden, weil ihre Ausprägung bereits durch die Wahl der Schraube bestimmt ist. Werden Schraube und Mutter als ein einziges Element betrachtet, so werden nur sechs Teilenummern benötigt, was effizienter ist.

Zur effizienten Bildung von Basiselementen lassen sich also folgende Regeln aufstellen:

- Ein Element soll immer dann weiter aufgeteilt werden, wenn jedes einzelne der neu entstandenen Elemente mindestens von einem Merkmal weniger abhängig ist, als das bisherige Element.
- Zwei Elemente sollen immer dann zu einem einzigen zusammengefasst werden, wenn das neu entstandene Element höchstens von gleich vielen Merkmalen ab-

hängig ist, wie dasjenige der bisherigen Elemente, welches die grösste Anzahl von Merkmalsabhängigkeiten aufweist.

Die so gebildeten Elemente erlauben eine Abbildung der Produktstruktur mit geringstmöglichem Aufwand, ohne dass dadurch relevante Informationen verloren gehen. Diese Abbildung der Produktstruktur in Basiselemente stellt eine funktionsgruppenorientierte[1] Gliederung dar und dient als Grundlage für die weitere Gliederung des Produktes nach den verschiedenen, in einem Unternehmen auftretenden Ansprüchen, wie sie später in Kapitel 4.2 beschrieben werden. Bei der Abbildung in Basiselemente soll darauf geachtet werden, dass die Elemente wenn immer möglich durch vom Kunden wahrnehmbare Merkmale beschrieben werden[2].

2.2.3.2.3 Zuordnungen

Durch die Beschreibung der Elemente durch Merkmale und Ausprägungen und die Bildung von Basiselementen ist die Produktstruktur noch nicht vollständig beschrieben. Zwar werden dadurch bereits verschiedene gegenseitige Abhängigkeiten von Elementen offensichtlich; die gegenseitige Zuordnung der Elementvarianten ist dadurch aber noch nicht abgeschlossen.

Die Beeinflussung von Elementen untereinander kann auf mehrere Arten geschehen. Die bekannteste Möglichkeit ist die Zuordnung durch Schnittstellen. Dies ist dann der Fall, wenn zwischen zwei Elementen eine physische Verbindung besteht. Die zweite Möglichkeit ist die gemeinsame Abhängigkeit mehrerer Elemente von denselben Produktmerkmalen. Ein solches Merkmal kann beispielsweise die gemeinsame Farbe sein. Eine weitere Möglichkeit ist die gegenseitige Beeinflussung durch Nutzung ge-

---

[1] Vgl. Caesar (1991), S. 53. Caesar versteht unter einer Funktionsgruppe eine selbständige Funktion. Dieser können dann direkt Funktionsträger bzw. Bestandteile zugeordnet werden.

[2] Bei komplexen Produkten kann es vorkommen, dass von dieser Regel abgewichen werden muss, weil der Zusammenhang zwischen kundenrelevantem Merkmal und technischer Auswirkung über verschiedene Abhängigkeiten führt. Wird das Element dann mit kundenrelevanten Merkmalen beschrieben, so ist für den Entwickler nicht mehr ersichtlich, welche Unterscheidungsmerkmale damit tatsächlich gemeint sind. Die Beschreibung nach kundenrelevanten Merkmalen muss aber für die verkaufsorientierte Erzeugnisgliederung trotzdem gemacht werden.

meinsamer Ressourcen durch mehrere Elemente. Diese Arten der Beeinflussung werden im folgenden genauer beschrieben.

Die Zuordnung von Elementvarianten zueinander kann in vielen Fällen durch eine Schnittstellenbeschreibung dargestellt werden. An einer Schnittstelle sind jeweils genau zwei Elemente beteiligt. Daraus folgt die theoretische Anzahl ***s*** der Schnittstellen bei einer Anzahl von ***n*** Elementen:

$$s(n) = \frac{n(n-1)}{2}$$

In der Praxis bestehen jedoch meistens bei weitem nicht zwischen allen Elementpaaren auch tatsächlich Schnittstellen, so dass die wirkliche Schnittstellenanzahl deutlich unter der theoretischen liegt. Die Information, zwischen welchen Elementen tatsächlich eine Schnittstelle besteht, kann durch eine Schnittstellenmatrix abgebildet werden[1].

Die Beschreibung der Schnittstellenvielfalt geschieht, ebenso wie die der Elemente, durch einen Satz von Merkmalen und Ausprägungen. Die vielfaltsorientierte Schnittstellenbeschreibung für das Beispiel der Stecknadel aus Abb. 2–5 ist in Tab. 2–5 dargestellt und umfasst lediglich einen Parameter.

Merkmal	Ausprägung 1	Ausprägung 2
Stiftdurchmesser	0.4 mm	0.7 mm

Tab. 2–5: Beschreibung der Schnittstellenvielfalt der Stecknadel

Daraus ergibt sich, dass es für die Schnittstelle zwischen Stift und Kopf der Stecknadel zwei Schnittstellenvarianten gibt. Die Zuordnung der Elementvarianten auf die Schnittstellenvarianten kann explizit angegeben werden, indem festgehalten wird, dass der Kopfdurchmesser 2 mm zum Stiftdurchmesser 0.4 mm, und der Kopfdurchmesser 3 mm zum Stiftdurchmesser 0.7 mm gehört. Die Zuordnung von Kopfdurchmesser auf Stiftdurchmesser entspricht einer eineindeutigen Abbildung.

---

[1] Vgl. Eversheim et al. (1995), S. 33.

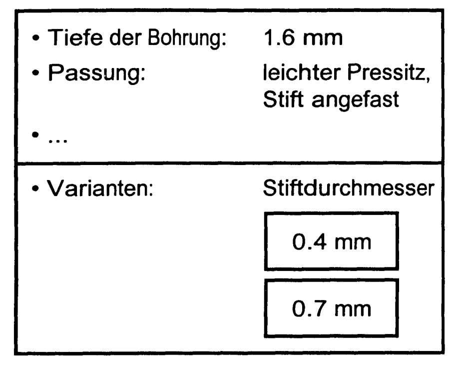
Für den Fall, dass die Bereiche eines Merkmals der Schnittstelle und der beteiligten Elemente nicht deckungsgleich sind, muss die Zuordnung der verschiedenen Bereiche zueinander entweder intuitiv nachvollziehbar sein, oder aber durch eine zweiseitige Schnittstellenbeschreibung ergänzend aufgeführt werden. Ein elektrischer Rasierer beispielsweise braucht, je nachdem ob er in den USA am 115 V-Netz oder in Europa am 230V-Netz betrieben wird, zwei verschiedene Netzkabel. Der Rasierer selbst funktioniert in derselben Variante sowohl am einen, als auch am anderen Netz. Das Netzkabel existiert also in zwei Varianten "115 V" und "230 V", der Rasierer und die Schnittstelle nur in einer Variante "115 V-230 V". Das Merkmal "Netzspannung" weist für die verschiedenen Elemente unterschiedliche Bereiche auf. Dies erfordert in diesem Fall keine weiteren Erklärungen, da die Zuordnung intuitiv möglich ist.

Für die vielfaltsorientierte Darstellung reicht diese Beschreibung der Schnittstellen aus. Damit die zwei an der Schnittstelle beteiligten Elemente auch wirklich nach Wunsch zusammenspielen, müssen für den Entwickler jedoch weitergehende Informationen zur Schnittstelle vorhanden sein. Die vollständige Beschreibung umfasst auch Information, die nicht vielfaltsbezogen ist. Zu den Merkmalen mit mehreren Ausprägungen kommen ergänzende Merkmale mit nur einer Ausprägung hinzu. Diese ergänzenden Merkmale sind vor allem dann von Bedeutung, wenn die Schnittstelle zwischen zwei Elementen auch die Schnittstelle zwischen zwei Entwicklungsteams bildet. Während ein Entwickler die Schnittstellen zwischen den Elementen in seinem Verantwortungsbereich oft intuitiv kennt, ist zur Abstimmung zwischen mehreren Personen oder Teams eine genaue Beschreibung notwendig[1]. Die Beschreibung der Schnittstelle geschieht auf Grund des Schnittstellenkonzeptes durch eine strukturierte Schnittstellenbeschreibung[2]. Diese Beschreibung kann auch Zeichnungen beinhalten (Abb. 2–7).

---

[1] Auf diesen Sachverhalt wird im Kapitel 4.2.3 genauer eingegangen.

[2] Vgl. Eversheim et al. (1995), S. 33.



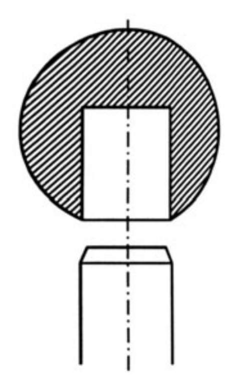


Abb. 2–7: Schnittstellenbeschreibung am Beispiel Stecknadel

Schnittstellen lassen sich auf verschiedene Arten typisieren, um deren spezielle Eigenschaften weiter zu beschreiben. Ein Aspekt, der bereits angesprochen wurde, ist der Bereich, der durch eine Schnittstellenvariante abgedeckt wird. Im Extremfall kann der ganze Bereich der Schnittstelle durch eine einzige Variante abgefangen werden. Das heisst, dass es keine Rolle spielt, welche Elementvarianten an der Schnittstelle beteiligt sind; die Elemente weisen keine Schnittstellenrelevanten Merkmale auf. Im anderen Extremfall ändert sich die Schnittstelle immer dann, wenn eine andere Variante eines Elementes an der Schnittstelle beteiligt ist. Zwischen diesen beiden Extremen ist praktisch jede Abstufung möglich. Eine standardisierte Schnittstelle, die den gesamten Bereich abdeckt, weist den Vorteil auf, dass die Komplexität des Produktes kleiner, und die Kombinierbarkeit von Elementvarianten unter Umständen erhöht wird. Andererseits muss als Folge die Schnittstelle auf den grössten Wert ausgelegt werden, was tendenziell zu einer Überdimensionierung und damit zu erhöhten Materialeinzelkosten führt. Welchen Bereich eine Schnittstelle optimalerweise abdecken soll, hängt von vielen Faktoren ab. Die Beantwortung dieser wichtigen Frage der Produktstrukturierung wird an späterer Stelle eingehend behandelt.

Die Monofunktionalität oder Multifunktionalität einer Schnittstelle bildet einen weiteren Freiheitsgrad in der Gestaltung der Produktstruktur (Abb. 2–8). Monofunktionale Schnittstellen bilden den in der Praxis am häufigsten anzutreffenden Fall: An eine Schnittstelle können zwar verschiedene Varianten desselben Elementes angekoppelt

werden, nicht aber grundsätzlich verschiedene Elemente mit unterschiedlichen Funktionen. Auf den Zylinderblock eines Automotors können zwar verschiedene Zylinderköpfe montiert werden (zum Beispiel in Zwei- oder Vierventiltechnik), aber um die Funktion zu gewährleisten, muss immer irgendeine Form von Zylinderkopf montiert werden. Anders bei multifunktionalen Schnittstellen: An eine Steckdose kann ein Fernseher, eine Lampe, eine Bohrmaschine oder ein anderes Gerät angeschlossen werden, das zwar immer dieselbe Schnittstelle aufweist, aber eine vollkommen unterschiedliche Funktion erfüllt. Ein anderes Beispiel ist die Schnittstelle zwischen den senkrechten Säulenrahmen eines Regals und den Komponenten der Ausrüstung: An derselben Stelle kann ein Fachboden, eine Schublade, eine Tischplatte oder eine Palettenhalterung montiert werden, ohne dass sich die Schnittstelle dadurch ändert. Eine weitere multifunktionale Form sind selbstorganisierende Schnittstellen. In diesem Fall besteht eine definierte mechanische Verbindung zwischen den Elementen. Die Form des Informationsaustausches richtet sich nach der Art der beteiligten Elemente. Beispiel hierfür ist das Plug-and-Play-Prinzip bei Personal Computern. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch multifunktionale Schnittstellen in vielen Fällen ein Zusatznutzen erzeugt werden kann. Deshalb sollte sorgfältig geprüft werden, welche Schnittstellen mono- und welche multifunktional ausgestaltet werden sollen.

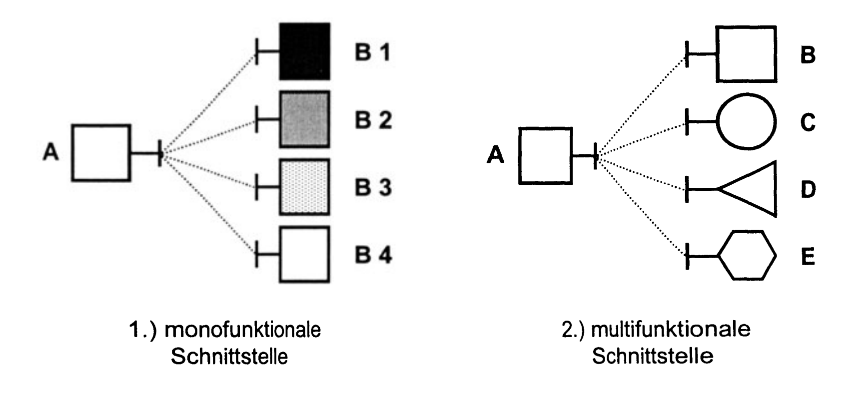


Abb. 2–8: Mono- und multifunktionale Schnittstellen

Ein weiterer Aspekt der Schnittstellenthematik ist die Lösbarkeit der Verbindung zwischen zwei Elementen. Diese hat einen direkten Einfluss auf den Kundennutzen des Produktes. Lösbare Schnittstellen müssen immer dann eingesetzt werden, wenn das betreffende Teil austauschbar sein muss. Lösbare Verbindungen ermöglichen zum

Beispiel eine verbesserte Wartbarkeit und damit eine höhere Verfügbarkeit eines Produktes. Dies widerspiegelt sich auch im Konzept der Modulbauweise, wie sie KOLLER[1] definiert. Eine weitere Anwendung besteht darin, ein bestehendes Produkt neu zu konfigurieren, indem bestehende Elemente durch neue oder verbesserte ersetzt werden. Zum Beispiel kann das Modem eines Computers durch ein anderes mit höherer Datenrate ersetzt werden[2].

Die gegenseitige Beeinflussung von Elementen geschieht, wie bereits erwähnt, häufig über Schnittstellen. Das Vorhandensein einer Schnittstelle ist zwar eine hinreichende, aber keine notwendige Bedingung für eine Beeinflussung. Es kann auch eine Zuordnung zwischen Elementen bestehen, die keine gegenseitige Schnittstelle aufweisen.

Eine Möglichkeit der Beeinflussung ohne Schnittstelle ist die Abhängigkeit mehrerer Elemente von demselben Merkmal. Wenn beispielsweise eine Seitenwand eines Schrankes 1950 mm hoch ist, so muss die zweite Seitenwand auch 1950 mm hoch sein. Es besteht also eine Abhängigkeit zwischen den Seitenwänden, obwohl keine Schnittstelle vorhanden ist (Abb. 2–9).

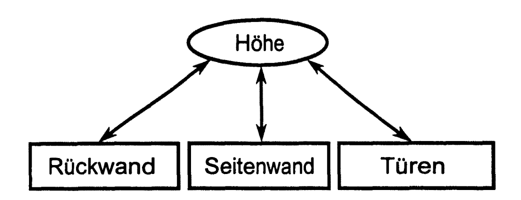


Abb. 2–9: Abhängigkeit über gemeinsames Merkmal am Beispiel eines Schrankes

Wie auch bei der Schnittstelle braucht die Zuordnung der Varianten der verschiedenen Elemente zueinander nicht eine bijektive Abbildung zu sein. Das heisst, dass eine Variante eines Elementes gemeinsam mit mehreren Varianten eines anderen Elements vorkommen kann. Beispielsweise hängen bei einem Schrank sowohl die Fachböden, als auch die Schubladen von denselben Merkmalen ab, nämlich von der Breite und der Tiefe des Schrankes. Während für eine Breite- / Tiefekombination genau ein Fachboden existiert, kann die Schublade noch verschiedene Fronthöhen aufweisen. Zu einer

---

[1] Vgl. Koller (1985), S. 110-111.

[2] Baldwin / Clark (1999), S. 4–13 bis 4–15 sprechen in diesem Zusammenhang von *substitution*.

bestimmten Schubladenvariante passt also nur eine Fachbodenvariante. Umgekehrt kann eine Fachbodenvariante mit verschiedenen Schubladenvarianten kombiniert werden.

Die Beeinflussung von Elementen kann auch durch gemeinsame Abhängigkeit von derselben knappen Ressource entstehen. Im Beispiel des Schrankes teilen sich die Schubladen die Ressource der Innenhöhe des Schranks. Wenn eine Schublade eine grössere Fronthöhe aufweisen soll, dann muss diese zusätzliche Höhe an einer anderen Schublade eingespart werden, damit dasselbe Schrankgehäuse verwendet werden kann. Wenn bei einer Lokomotive durch den technologischen Fortschritt die elektrische Ausrüstung um eine Tonne leichter wird, so muss an einem anderen Ort die Masse erhöht werden, damit die Lokomotive immer noch die gewünschte Gesamtmasse von 80 Tonnen aufweist. Oder wenn bei einem Gasturbinenkraftwerk durch Leistungserhöhung der Wärmetauscher zur Kühlung des Schmieröls grösser wird, dann muss der zusätzlich benötigte Raum an einem anderen Ort eingespart werden, damit dasselbe Maschinenhaus weiterhin eingesetzt werden kann. Abb. 2–10 zeigt diesen Zusammenhang am Beispiel der Masse eines Laptop-Computers.

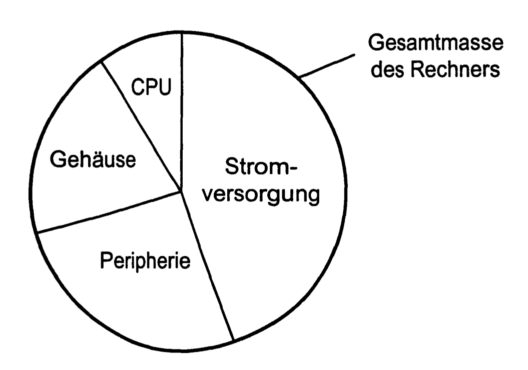


Abb. 2–10: Nutzung der Ressource *Masse* bei einem Laptop-Computer

Die Zusammenhänge zwischen den Elementen einer Produktstruktur können auch durch komplexe Mechanismen zustandekommen, die nicht durch einfache Regeln abgebildet werden können. Bei Schränken muss beispielsweise unter Umständen eine Kippsicherung verwendet werden. Der Einsatz der Kippsicherung richtet sich nach

Breite, Höhe und Tiefe, sowie nach der Art der Inneneinrichtung und der Beladung des Schranks.

2.2.3.3 Steuergrössen zur Beeinflussung der Produktstruktur

Nachdem bestimmt wurde, welche produktbezogenen Informationen die Produktstruktur darstellen, stellt sich nun die Frage, welche Steuergrössen[1] für die Beeinflussung und Änderungen der Produktstruktur dienen können. Abb. 2–11 zeigt eine schematische Darstellung der Produktstruktur eines einfachen Produkts[2].

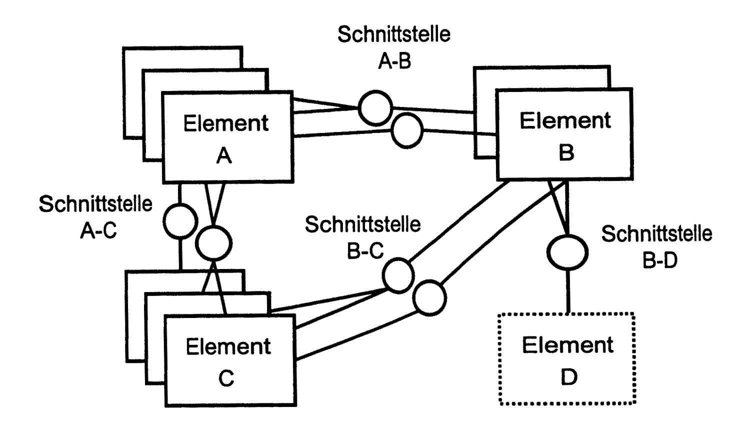


Abb. 2–11: Schematische Darstellung der Produktstruktur eines einfachen Produkts

Die Anzahl der Elemente beträgt in der gezeigten Produktstruktur vier. Die Elementeanzahl[3] wird einerseits dadurch bestimmt, wie das Produkt in Elemente aufgeteilt wird.

---

[1] Vgl. Dyckhoff (1992), S. 27.

[2] Zu beachten ist, dass in dieser Art der Darstellung Zuordnungen, welche nicht durch Schnittstellen entstehen, nicht ersichtlich sind. Element C könnte zum Beispiel die Innenausrüstung eines Schrankes mit den drei Varianten *Fachboden natur*, *Fachboden lackiert* und *Schubladen* darstellen. Element D könnte für den Abschluss des Schrankes mit einer Flügeltür stehen. Da die Tür nicht mit der Inneneinrichtung physisch verbunden wird, ist keine Schnittstelle vorhanden. Dennoch besteht eine gegenseitige Abhängigkeit: Die Flügeltür kann nicht montiert werden, wenn der Schrank mit Schubladen ausgerüstet wird.

[3] Vgl. Anhang 1 für die Definition der elementbezogenen Grössen.

Andererseits kann sie direkt beeinflusst werden, indem Funktionalitäten des Produktes weggelassen oder hinzugefügt werden[1]. Eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung entsteht durch die Bildung von Integral- oder Differentialteilen[2].

Die Anzahl der Varianten eines Elementes ist eine weitere Steuergrösse zur Beeinflussung der Produktstruktur. Die Elementevielfalt hat einen direkten Einfluss auf die Variantenzahl des Endproduktes[3] und ist somit kostenrelevant. Elementeanzahl und Elementevielfalt sind nicht vollständig unabhängig voneinander. Wird zum Beispiel bei gegebener Funktionalität des Produktes die Elementeanzahl verkleinert, so kann dies zu einer Erhöhung der Vielfalt einzelner Elemente führen[4].

Die Variantenzahl des Endproduktes wird auch durch den Kenner eines Elementes beeinflusst[5]. Das Element D ist beispielsweise ein Zusatzteil. Dies bedeutet, dass das Produkt auch ganz ohne dieses Element funktionsfähig ist. Dies führt faktisch zu einer Verdoppelung der Variantenzahl des Endproduktes gegenüber derselben Produktstruktur mit Element D als Standardteil, welches immer vorhanden ist.

Eine weitere Möglichkeit zur Strukturbeeinflussung ist die Mehrfachverwendung desselben Elementes in einem Produkt. Bei einem Personal Computer wird zum Beispiel die gewünschte Hauptspeicherkapazität (RAM) durch Einsatz mehrerer gleicher Steckmodule erreicht. Dies entspricht logisch der Aufteilung des Elements Hauptspeicher in mehrere Teilelemente[6]. Eine andere Form der Mehrfachverwendung ist der Einsatz von Gleichteilen. Insbesondere bei Kleinteilen wie Schrauben wird oft

---

[1] Baldwin / Clark (1999), S. 4–15 bis 4–18 sprechen in diesem Zusammenhang von *augmenting* und *excluding*.

[2] Vgl. dazu auch Kapitel 3.1.4.

[3] Unter der Voraussetzung, dass alle anderen Grössen, insbesondere Kombinationseinschränkungen, unverändert bleiben.

[4] Baldwin / Clark (1999), S. 4–12 bis 4–14 sprechen im Zusammenhang von der Einteilung des Produktes in Elemente von *splitting*.

[5] Vgl. Caesar (1991), S. 61. Caesar unterscheidet bei Mussteilen Standardteile (Kenner S), welche in derselben Ausführung in allen Produktvarianten vorkommen und Ersatzvariantenteile (Kenner E), die in verschiedenen Ausführungen in jeder Produktvariante auftreten. Im weiteren werden bei den Kannteilen Zusatzteile (Kenner Z) von Zusatzersatzvariantenteilen (Kenner ZE) unterschieden. Zusatzteile kommen nur in gewissen Endprodukten, aber immer in derselben Form vor. Zusatzersatzvariantenteile schliesslich werden nur in gewissen Endproduktvarianten verbaut und können ausserdem verschiedene Formen annehmen.

[6] Dove (1995 a), nennt diese Art der Realisierung *skalierbare Einheiten*.

versucht, mit möglichst wenigen Varianten auszukommen. Hersteller von elektronischen Produkten bilden Kataloge mit bevorzugt einzusetzenden Bauteilen, um die Vielfalt in Grenzen zu halten und Mengeneffekte zu erzielen. Eine besonders weitreichende Form der Gleichteileverwendung ist das Plattformkonzept[1].

Die Variantenvielfalt kann auch durch Hierarchisierung von Merkmalen beeinflusst werden. Bei einem Automobil sind sowohl Türen als auch Heckklappe lackiert. Das Merkmal Farbe gilt übergeordnet sowohl für die Türen und die Heckklappe. Dies führt dazu, dass Türen und Heckklappen immer nur in derselben Farbe erhältlich sind. Das Merkmal kann jedoch auch eine Stufe tiefer definiert werden. Die neuen Merkmale Heckklappenfarbe und Türfarbe sind nun unabhängig, was durch neue Kombinationsmöglichkeiten zu einer grösseren Variantenvielfalt führt[2].

Ein weiterer Freiheitsgrad besteht in der Ausgestaltung der Schnittstellen. Hier stellt sich die Frage, wie viele Varianten einer Schnittstelle die günstigste Lösung darstellen. Natürlich ist man bestrebt, die Schnittstelle möglichst universell zu gestalten, ohne unnötige Materialeinzelkosten durch Überdimensionierung in Kauf nehmen zu müssen[3]. Im weiteren muss die Verbindungstechnik pro Schnittstelle festgelegt werden. Dabei sind insbesondere Aspekte der Lösbarkeit zu berücksichtigen. Bei elektronischen Flachbaugruppen stellt sich beispielsweise die Frage, ob Verbindungen gelötet oder steckbar ausgestaltet werden sollen. Lösbare Verbindungen können einerseits die Verfügbarkeit des Produktes erhöhen, weil defekte Module ausgetauscht werden können und die Reparatur derselben nicht den Stillstand des Produktes bedingt. Andererseits ermöglichen lösbare Verbindungen eine Rekonfiguration des Produktes auch nach dem Verkauf[4].

---

[1] Vgl. dazu Kapitel 3.2.3.

[2] Beim Smart der Firma MCC sind beispielsweise die Farben der Karosserie und der Body Panels entkoppelt.

[3] Eine Methode zur Bestimmung der optimalen Vielfalt wird in Kapitel 4.2.1 vorgestellt.

[4] Baldwin / Clark (1999), S. 2–43, sowie S. 4–16, sprechen in diesem Zusammenhang von *Modularity in use*. Als Beispiel eines solchen Produktes werden Betten angeführt. Betten werden häufig nicht als Gesamtprodukt, sondern als Lattenrost, Matratze, Decken, Kissen etc. gekauft. Die "standardisierten Schnittstellen" zwischen den einzelnen Teilen ermöglichen dem Kunden eine freie Konfiguration. So kann zum Beispiel auch nach Jahren noch eine andere Matratze eingesetzt werden, ohne dass der Rest des Bettes ersetzt werden muss.

Der Ort und die Anzahl der Schnittstellen werden zu einem grossen Teil durch die Einteilung des Produktes in Elemente bestimmt. Dennoch bestehen diesbezüglich gewisse Freiheiten. Das Zusammenspiel von Elementen kann auf direkten Verbindungen beruhen, was eine Schnittstelle zwischen den betreffenden Elementen bedingt. Eine andere Möglichkeit ist die hierarchische Wechselbeziehung, wie dies bei Personal Computern verbreitet ist. Hier findet die Informationsübermittlung zwischen den einzelnen Baugruppen nicht direkt statt, sondern über ein Bussystem. Dies führt dazu, dass die Baugruppen eine Schnittstelle zum Bus aufweisen, jedoch untereinander nicht direkt verbunden sind[1].

2.2.3.4 Kenngrössen von Produktstrukturen

Wie aus den vorangehenden Ausführungen ersichtlich wird, ist zur genauen Beschreibung der Produktstruktur im Allgemeinen eine grosse Zahl von Parametern nötig. Es stellt sich daher die Frage, ob sich die Information in irgendeiner Form verdichten lässt, um Aussagen im Sinne von Kenngrössen zu treffen. Diese sollen Aussagen über den Charakter einer Produktstruktur im Sinne einer Analyse des Ist-Zustandes ermöglichen.

Kennzeichnende Eigenschaften einer Produktstruktur sind die Variantenzahl des Produktes, sowie die Art und Weise, wie diese erreicht wird. Die Variantenzahl des Produktes lässt sich bestimmen aus der Vielfalt der einzelnen Elemente und deren gegenseitigen Abhängigkeiten. Eine weitere Rolle spielt der Funktionsumfang der einzelnen Elemente. Kenngrössen der Produktstruktur werden daher unter den Gesichtspunkten Vielfalt und Umfang der Elemente, sowie dem Grad der Abhängigkeit zwischen den Elementen gebildet.

---

[1] Dove (1995 b), bevorzugt bei seinen Design Rules direkte (nicht-hierarchische) Verbindungen, um die Anzahl der Schnittstellen gering zu halten. Wie das Beispiel der Personal Computer zeigt, kann aber unter Umständen die indirekte Kommunikation über einen Bus dazu beitragen, eine geringere Anzahl Schnittstellen zu erreichen.

2.2.3.4.1 Vielfalt

Ein wichtiger Teil der Produktstruktur sind die Aspekte der Vielfalt. Darunter ist sowohl die Vielfalt des Endproduktes, als auch die Anzahl und die Vielfalt der Elemente und der Schnittstellen zu verstehen.

Die Vielfalt eines Produktes ist nicht Selbstzweck[1] und wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Es besteht daher nicht unbeschränkte Freiheit in bezug auf Fragen der Vielfalt. Dies hat auch Auswirkungen auf die Bildung von Kennzahlen zur Variantenvielfalt. Der Schwerpunkt liegt nicht auf den Absolutwerten der vielfaltsbezogenen Grössen, da deren Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Produkten oder Unternehmen beschränkt ist. Vielmehr geht es bei den vielfaltsbezogenen Kennzahlen darum, ein Instrumentarium zur Überwachung der Veränderungen der Vielfalt zur Verfügung zu stellen. Tab. 2–6 zeigt eine Zusammenstellung von Kennzahlen zur Vielfalt.

Kenngrösse	***Beschreibung***
Mögliche Variantenzahl	Anzahl Produktkonfigurationen, die ohne Änderung der Produktstruktur erstellt werden können.
Reale Variantenzahl	Anzahl Produktkonfigurationen, die tatsächlich angeboten werden.
Teilevielfalt	Entspricht der Anzahl Stammdatensätze, die verwaltet werden müssen.
Wiederverwendungsgrad	Gibt an, in wievielen Produktvarianten eine Elementvariante durchschnittlich vorkommt.
Wiederholhäufigkeit	Gibt an, wie oft dasselbe Element durchschnittlich in einer Produktvariante verbaut wird.

Tab. 2–6: Kennzahlen zur Vielfalt[2]

Die mögliche Vielfalt des Endproduktes wird durch die Variantenzahl beschrieben. Sie gibt die Anzahl der möglichen Produktkonfigurationen wieder, die mit der bestehenden Produktstruktur erstellt werden können.

---

[1] Vgl. Zich (1996), S. 151.

[2] Weitere Kennzahlen finden sich bei Zich (1996), S. 156 und Caesar (1991), S. 164-174.

Demgegenüber ist die reale Vielfalt des Endproduktes oftmals kleiner. Diese Reduktion entsteht durch nicht technisch bedingte Einschränkungen der Vielfalt. Dazu gehört unter anderem die Bildung von Paketen[1], sowie die Einführung von Kombinationsbeschränkungen zwischen Produktmerkmalen zur Reduktion der Vielfalt. Die reale, wie auch die mögliche Variantenzahl ist in vielen Fällen nicht bekannt und muss zuerst ermittelt werden. Der Grund hierfür ist, dass oft nicht jede Produktvariante eine eigene Artikelnummer erhält. Beispielsweise wird häufig die Farbe im Klartext angegeben und nicht in die Artikelnummer codiert.

Die Gesamtzahl der Teilevarianten ist eine weitere Kenngrösse von Interesse. Jedes Teil verursacht einen Stammdatensatz, der erstellt und gepflegt werden muss. Durch die Schaffung zusätzlicher Produktvarianten wird oft auch die Zahl der zu verwaltenden Teile erhöht.

Bei der Betrachtung verschiedener Produktvarianten ist von Interesse, wie stark sich die Varianten unterscheiden, beziehungsweise wie gross der Gleichteileumfang ist. Hierzu wird für jedes Element die Anzahl Produktvarianten durch die Anzahl Elementvarianten dividiert[2]. Anschliessend wird der Mittelwert über alle Elemente gebildet. Diese Kenngrösse gibt einen Hinweis darauf, inwieweit innerhalb der Produktstruktur ein Plattformkonzept realisiert ist.

Für die Produktstruktur ist weiter kennzeichnend, wie oft dasselbe Element durchschnittlich in einer Produktvariante verbaut wird. Kenngrösse hierfür ist die Wiederholhäufigkeit. Im Extremfall kommt jedes Element nur einmal vor. Ein Kugelschreiber besteht zum Beispiel fast immer aus Teilen, von denen sich jedes von den anderen unterscheidet. Im anderen Extremfall kann dasselbe Element in sehr grosser Anzahl in derselben Produktvariante vorkommen. Ein Regal zum Beispiel besteht nur aus den zwei Elementen Säule und Fachboden. Jedes dieser Elemente kann aber in grosser Stückzahl vorkommen. Solche Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass mit einer beschränkten Anzahl Elementvarianten eine unendlich grosse Anzahl Produktvarianten erstellt werden kann.

---

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 59, sowie Schaller (1980).

[2] Bei Zusatzumfängen wird die Variantenzahl des betreffenden Elementes um eins erhöht, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass durch Weglassen des Elements eine weitere Produktvariante entsteht.

Die variantenbezogenen Kennzahlen lassen sich auch in beschränktem Mass für ein Benchmarking einsetzen. Falls ähnliche Produkte in ähnlichen Branchen untersucht werden, kann die Position der eigenen Produktstruktur relativ zu derjenigen anderer Unternehmen bestimmt werden. Aussagen zur Qualität der Produktstruktur sind jedoch, wenn überhaupt, nur in sehr beschränktem Mass möglich, weil die Produktstruktur durch vielfältige Einflüsse geprägt wird, die oft auch in ähnlichen Anwendungsgebieten nicht vergleichbar sind.

2.2.3.4.2 Interdependenz

Die Interdependenz ist Mass für die gegenseitige Abhängigkeit der Elemente eines Produktes bei gegebener Einteilung in Elemente. Ist jede Variante jedes Elements beliebig mit allen Varianten aller anderen Elemente kombinierbar, so ist keine Interdependenz vorhanden. Für ein konkretes Produkt lässt sich der Grad der Interdependenz mit Hilfe des Quotienten aus realer und maximaler Kombinierbarkeit der Elementevarianten bestimmen[1].

$$I = 1 - \frac{K_{real}}{K_{\max}} = 1 - \frac{K_{real}}{\prod_{i=1}^{n} v_i}$$

I	:	Interdependenz der Elemente
K_{real}	:	Reale Kombinierbarkeit der Elemente
K_{max}	:	Maximale Kombinierbarkeit der Elemente
v_i	:	Anzahl der Varianten des Elementes i
n	:	Anzahl der Elemente des Produktes

Die maximale Kombinierbarkeit entspricht dem Produkt aller Elementvariantenzahlen. Die reale Kombinierbarkeit entspricht der Anzahl Endvarianten, die aus den Elementevarianten wirklich gebildet werden können. Dabei werden Varianten, die durch das Weglassen von Kann-Teilen entstehen, nicht mitgezählt. Die Interdependenz kann Werte zwischen Null und Eins annehmen, wobei Null keine Interdependenz und Eins

[1] Chen et al. (1994) untersuchen den Zusammenhang von Modularität und funktionaler Unabhängigkeit.

maximale Interdependenz bedeutet. Die Interdependenz ist nicht definiert für Produkte, deren (maximale) Anzahl Elemente unendlich ist[1]. Die Interdependenz-Kennzahl enthält nur einen Teil der Produktstrukturinformation. Es kann daher nicht von einem gewissen Wert der Interdependenz auf eine bestimmte Produktstruktur rückgeschlossen werden. Deshalb eignet sich diese Kennzahl nicht zur Definition von Sollwerten.

Die Interdependenz der Elemente ist ein Mass dafür, wie modular ein Produkt aufgebaut ist. Je weniger gegenseitige Abhängigkeiten zwischen den Elementen bestehen, desto modularer ist das Produkt. Der Grad der Modularität ist jedoch damit noch nicht hinreichend beschrieben.

2.2.3.4.3 Integrationsgrad

Der Integrationsgrad gibt an, in welchem Mass die Funktionalität in den Elementen zusammengefasst wird. Bildlich gesprochen gibt der Integrationsgrad Aufschluss über den Funktionsumfang der Elemente.

$$M_{abs} = \frac{E_{real}}{E_{\min}} - 1 = \frac{E_{real}}{\sum_{i=1}^{k} m_i} - 1$$

M_{abs}	:	Absoluter Integrationsgrad des Produktes
E_{real}	:	Reale Anzahl Elementvarianten
E_{min}	:	Minimale Anzahl Elementvarianten für die Vielfalt
m_i	:	Anzahl der Ausprägungen des Merkmals i
k	:	Anzahl der Merkmale des Produktes

[1] Viele Produkte bestehen aus einer genau festgelegten maximalen Anzahl Elemente. Eine Stecknadel zum Beispiel besteht aus den zwei Elementen Kopf und Stift. Unter bestimmten Umständen kann der Kopf weggelassen werden; die maximale Anzahl Elemente ist jedoch genau definiert. Produkte dieser Art weisen eine endliche Anzahl Elemente auf.
Bei anderen Produkten lässt sich die Anzahl der Elemente nicht bestimmen. Ein Beispiel hierfür ist ein Palettenregal. Das Palettenregal besteht aus einer Anzahl gleichartiger Regalfelder, die nebeneinander stehend angeordnet werden. Die Schnittstelle von einem Regalfeld zum nächsten ist klar definiert, aber es können beliebig viele Felder nebeneinander angeordnet werden, die ihrerseits

Ein Integrationsgrad von Null besagt, dass kein Element von mehr als einem Produktmerkmal abhängig ist. Die Produktvarianten entstehen durch Kombination einer minimalen Gesamtzahl von Elementen. Die Produktvarianten in Abb. 2–12 entstehen dadurch, dass die verschiedenen Elemente miteinander in 72 Variationen kombiniert werden. Jede Elementvariante ist nur von einem Merkmal abhängig. Im Beispiel sind also vier Produktmerkmale vorhanden: das erste mit drei, das zweite mit zwei, das dritte mit vier und das letzte mit drei Ausprägungen.

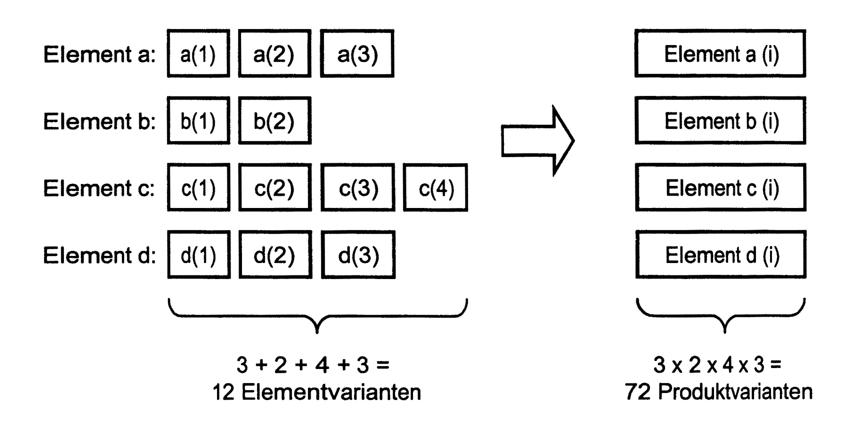


Abb. 2–12: Produktstruktur mit Integrationsgrad Null[1]

Ein Integrationsgrad von Null kann aber nur in wenigen Fällen tatsächlich erreicht werden. Häufig ist es gar nicht möglich, die Elemente so zu gestalten, dass sie nur von einem Merkmal abhängig sind. Bei einer Tischplatte ist es beispielsweise nicht möglich, die variantentreibenden Merkmale Breite und Tiefe zu entkoppeln. Eine Integration von Breite und Tiefe im Element Tischplatte ist daher gegeben.

Aus diesem Grund muss für die Praxis an die Stelle des absoluten Integrationsgrades der relative Integrationsgrad treten. Dieser zeigt an, wie stark die Integration im Verhältnis zur kleinstmöglichen Integration ist.

---

eine unterschiedliche Anzahl Palettenträger aufweisen können. Die Anzahl der Elemente könnte theoretisch unendlich sein. Deshalb kann keine maximale Anzahl angegeben werden.

[1] Darstellung in Anlehnung an Sanchez (1996), S. 127.

$$M_{rel} = \frac{E_{real}}{E_{basis}} - 1$$

M_{rel} : Relativer Integrationsgrad des Produktes
E_{real} : Reale Anzahl Elementvarianten
E_{basis} : Anzahl Elementvarianten in der Basisabbildung

Die kleinstmögliche Integration kann der Basisabbildung der Elemente, wie sie in Abschnitt 2.2.3.2.2 beschrieben wurde, entnommen werden.

Demgegenüber ist die maximale Integration dann erreicht, wenn sämtliche variantentreibenden Produktmerkmale auf ein Element konzentriert sind (Abb. 2–13).

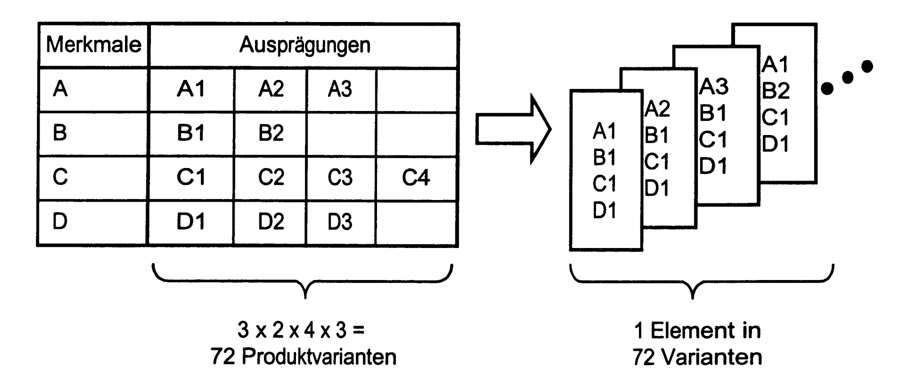


Abb. 2–13: Produktstruktur mit maximalem Integrationsgrad

Auch der Integrationsgrad ist ein Mass für die Modularität eines Produktes. Je kleiner der Integrationsgrad, desto modularer ist das Produkt. Die Modularität ist jedoch kein Mass für die Güte der Produktstruktur. Wie modular ein Produkt sein muss, hängt von verschiedenen Faktoren ab, auf die in Kapitel 4 näher eingegangen wird.

Für den Integrationsgrad und die Interdependenz gilt, genau wie für die vielfaltsbezogenen Kenngrössen, dass sie in beschränktem Mass für ein Benchmarking eingesetzt werden können.

2.3 Typisierung von Produktstrukturen

Wie gezeigt wurde, ist die Produktstruktur ein mehrdimensionales Gebilde von hoher Komplexität. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob sich gewisse Produktstrukturtypen herausarbeiten lassen, die stellvertretend für bestimmte Eigenschaftsbündel der Produktstruktur stehen können und dadurch die Komplexität der Beschreibung reduzieren helfen.

Produktstrukturtypen sollen jedoch nicht Selbstzweck sein, sondern Produktstrukturen repräsentieren, die für bestimmte Anwendungsfälle besonders geeignet sind. Im folgenden werden bestehende Typisierungsansätze auf diesen und die in Kapitel 2.2.1 formulierten Ansprüche hin geprüft.

2.3.1 Produktstrukturtypen nach SCHUH

SCHUH trägt vier prinzipielle Produktstrukturen zusammen, die für die Beherrschung der Variantenvielfalt von Produkten prinzipiell geeignet seien[1]. Er nennt diese Produktstrukturtypen Baureihen, Module, Baukästen und Pakete (Abb. 2–14).

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 58 ff.

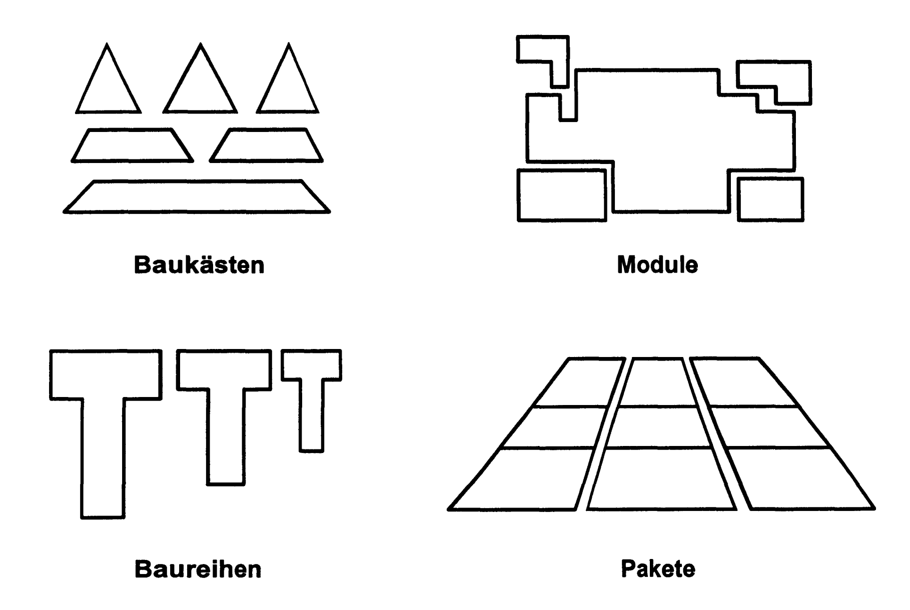


Abb. 2-14: Strukturtypen nach SCHUH

2.3.1.1 Baureihen

Baureihen zeichnen sich nach SCHUH durch gleiche Baumuster von Anbauteilen unterschiedlicher Grösse aus. Baureihen werden besonders bei konstruktiv und planerisch aufwendigen Produkten, wie zum Beispiel Motoren, Turbinen und Aggregaten, eingesetzt[1].

Baureihen sind nach KOLLER dadurch gekennzeichnet, dass sich deren Typen nach dem Gesetz der Reihe ordnen lassen; ein zwischen zwei Typen liegender oder das auf einen Typ folgende Element einer Baureihe lässt sich nach dem Gesetz der Reihe vorherbestimmen. Neben echten Baureihen-Produkten gibt es auch baureihenähnliche Produkttypen, welche sich nicht dem Gesetz der Reihe entsprechend ordnen lassen. Diese werden demnach auch nicht als Baureihen, sondern als Typengruppen bezeichnet. Für die Praxis sind Baureihen und Typengruppen gleichermassen bedeutend. Für die Bildung von Baureihen und Typengruppen kommt grundsätzlich jeder

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 59.

Parameter eines technischen Gebildes in Frage. Mögliche Grössen sind zum Beispiel Leistung, Baugrösse, Gestalt, Anzahl, Anordnung, Werkstoffart, Festigkeit, Qualitätsparameter, Preis und vieles mehr[1]. Dies bedeutet aber, dass Erzeugnisse eine Baureihe bilden können, die konstruktiv keinerlei Gemeinsamkeiten aufweisen. Nach dieser Definition kann eine Baureihe von Motoren nach der Leistung festgelegt werden, wobei der eine Typ ein Elektromotor, der nächste ein Dieselmotor und der dritte ein Hydraulikmotor ist. Dies zeigt, dass der Baureihenbegriff nicht hinreichend ist, um eine Produktstruktur zu typisieren, weil nicht genügend viele Produktstrukturgrössen einbezogen werden.

Gemäss KÜHBORTH ist ein zusätzliches Kriterium für eine Baureihe, dass die dazugehörenden Erzeugnisse gemeinsam genutzte Bauelemente enthalten. Dazu kann es genügen, wenn mindestens eines der bei anderen Baugrössen verwendeten Bauelemente in jedem zu der Baureihe gehörenden Erzeugnis vorkommt[2]. Diese gemeinsam genutzten Elemente heissen Sekundärelemente, alle typenspezifischen Elemente heissen Primärelemente. Eine Baureihe ist nach KÜHBORTH eine nach produktspezifischen Primärelementen geordnete, begrenzte Zahl von Baugrössen, deren Sekundärelemente zu einem Baukastensystem gehören. Die Anzahl der möglichen Baugrössen ist durch die Anzahl Varianten bei den Primärelementen begrenzt[3].

Die Kritik des Verfassers am Baureihenkonzept als Produktstrukturtyp bezieht sich auf zwei Punkte. Einerseits ist die Baureihe zur Typisierung einer Produktstruktur nicht hinreichend, weil sie sich nur auf Teilaspekte der Produktstruktur bezieht. So wird zwar etwas darüber ausgesagt, welche primäre Eigenschaft das Produkt haben soll, nicht aber darüber, aus welchen Elementen das Produkt bestehen soll und wie deren Zuordnung untereinander aussehen muss. Andererseits ist die eingangs geforderte eindeutige Zuordnung einer Produktstruktur zum Typ Baureihe oder Baukasten nicht immer möglich. Dies widerspiegelt sich einerseits in der Baureihendefinition von KÜHBORTH, andererseits auch in der Arbeit von SCHUH, der eine Zuordnung von Produktstrukturen zu den Strukturtypen mangels Eindeutigkeit mit Hilfe der Korrelationsanalyse vornimmt[4].

---

[1] Vgl. Koller (1985), S. 115.

[2] Es wäre also hinreichend, wenn in allen Mitgliedern der oben genannten Motorenbaureihe (Diesel-, Elektro-, Hydraulikmotor) eine Unterlegscheibe desselben Typs verbaut würde.

[3] Vgl. Kühborth (1986), S. 16-17.

[4] Vgl. Schuh (1989), S. 68-76.

2.3.1.2 Module

Module sind Anbauteile, die mit unterschiedlichen Funktionen, aber einheitlichen Schnittstellen eine vielfältige Kombinierbarkeit der Komponenten ermöglichen. Die Modulbauweise wird bei Elektronikbauelementen und in der Bauindustrie verstärkt angewandt[1].

Eine grundlegend andere Definition von Modulstrukturen findet sich bei KOLLER. Er bezeichnet Modular-Bauweise als eine Bauart, bei der technische Produkte in Bausteine mit bestimmten Funktionen und Schnittstellen gegliedert werden. Durch Zusammenbau dieser Bausteine (Module) kann – im Gegensatz zu Baukastensystemen – nur ein bestimmtes Produkt erzeugt werden[2]. Den Nutzen einer solchen Struktur sieht KOLLER vor allem in der Wartbarkeit: Eine defekte Baugruppe kann bequem ausgebaut und gegebenenfalls durch eine funktionsfähige desselben Typs ersetzt werden. Nachteilig wirkt sich aus, dass die Modulschnittstellen demontierbar sein müssen, was zu zusätzlichen Steckverbindungen und Flanschen und damit zu höheren Materialeinzelkosten führt.

Dieses Verständnis von Modularität deckt sich nicht mit demjenigen von RATHNOW, der ausdrücklich auf die Nutzung des Modul-Prinzips zur effizienten Erzeugung von Vielfalt verweist. Er hält das Modularprinzip für in besonderem Masse geeignet, durch Nutzung des Kombinatorik-Effektes eine ausserordentlich hohe Vielfalt bei nur begrenzten Innenwirkungen darzustellen[3]. Als Beispiel für ein modulares Produkt mit hoher Vielfalt verwendet er die Swatch-Uhr.

GARTNER sieht den Grundgedanken der Modulbauweise in der Auslagerung von Baugruppen aus der Bandmontage in Vormontagebereiche, wie diese in der Automobilindustrie üblich ist[4]. Dies bietet den Vorteil, dass die Montageprozesse am Band übersichtlicher werden. Ausserdem kann die Produktion der Module an anderen Standorten mit günstigerer Kostenstruktur durchgeführt werden (Outsourcing)[5].

---

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 59.

[2] Vgl. Koller (1985), S. 111-112.

[3] Vgl. Rathnow (1993), S. 109.

[4] Vgl. Gartner (1993), S. 2.

[5] Vgl. Gartner (1993), S. 11.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Prinzip der Modulbauweise in der Literatur verschieden interpretiert wird. Dies ist vor allem auch deswegen störend, weil mit dem Baukastenprinzip ein ähnliches Konzept vorliegt.

2.3.1.3 Baukasten

Unter einem Baukastensystem versteht man ein System von Produkten, die so aufgebaut sind, dass alle Produkte aus einer Zahl von Bausteinen hergestellt werden können. Das Ziel, das mit diesem Prinzip verfolgt wird, ist es, ein Produktprogramm mit möglichst niedrigen Variantenkosten zu erhalten[1].

Baukästen sind charakterisiert durch einen oder wenige Grundkörper, an die in verschiedenen Montagestufen unterschiedlich variantenreiche Anbauteile montiert werden. Dieses Prinzip ist häufig Grundlage von Stücklistenstrukturen im Anlagenbau[2]. Der Unterschied zur Modulbauweise besteht darin, dass die Schnittstellen vor allem zwischen den Anbauteilen und dem Grundelement, nicht aber zwischen den verschiedenen Anbauelementen liegen.

KOLLER sieht in Baukästen eine Erweiterung des Modul-Prinzips, indem die einzelnen Module nicht mehr nur in einer Ausprägung vorkommen können, sondern verschiedene Modulvarianten (auch mit unterschiedlichen Funktionen) an derselben Stelle stehen können[3]. Andererseits ist es auch möglich, denselben Modultyp in verschiedenen Produkten einzusetzen.

BIEGERT definiert als Referenz den vollkommenen Baukasten: "Gelingt es, sämtliche Erzeugnisse aus mehrfach verwendeten Bauelementen zusammenzusetzen, ohne dass für bestimmte Einzellösungen charakteristische Spezialelemente erforderlich sind, so spricht man von einem vollkommenen Baukasten[4]". Allerdings wäre ein Baukasten denkbar, der noch vollkommener ist: Nämlich dann, wenn jede Variante jedes Bauteils

---

[1] Vgl. Andreasen et al. (1985), S. 114-117. Andreasen et al. unterscheiden nicht zwischen Baukastenprinzip und Modulprinzip, sondern handeln die Eigenschaften beider Typen unter dem Baukastenprinzip ab.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 58.

[3] Vgl. Koller (1985), S. 112-114.

[4] Biegert (1971), zitiert nach Kühborth (1986), S. 16.

mit jeder Variante jedes anderen Bauteils beliebig kombinierbar wäre. Diese Forderung ist insofern strenger, als es nicht genügt, wenn jedes Bauteil mit *mehreren* Varianten *eines* anderen kombinierbar ist. Es muss mit *allen* Varianten *jeden* anderen Bauteils kombinierbar sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Begriffe Modulprinzip und Baukastenprinzip in der Literatur sehr unterschiedlich verwendet werden. Vom Wesen her gehen die Begriffe ineinander über und beinhalten nicht selten das gleiche. Eine saubere Trennung der Begriffsinhalte ist unter diesen Voraussetzungen schwierig[1].

2.3.1.4 Pakete

Pakete setzen sich aus Anbauteilen für verschiedene Ausstattungen und Funktionen zusammen, die jeweils nur gemeinsam, nicht aber in einem anderen Paket auftreten. Pakete werden unter anderem in der Automobilindustrie geschaffen, um die Kombinationsmöglichkeiten von Ausstattungen und Anbauteilen einzuschränken. Der Aufwand in Entwicklung und Disposition soll dadurch reduziert werden[2]. Die Bildung von Paketen ist bei jedem der drei zuvor genannten Produktstrukturtypen möglich. Ein Personal Computer (PC) entspricht in seiner Produktstruktur sowohl einem Modul- als auch einem Baukastenkonzept. In der Vergangenheit wurden bei PCs zum Beispiel Multimedia-Pakete gebildet, bei denen eine leistungsfähige Grafikkarte mit einer Soundkarte und einem zugriffsschnellen CD-ROM-Laufwerk kombiniert wurden. Die Paketbildung entspricht einer bewussten Einschränkung der vom Produkt gebotenen Modularität und ist somit von ihrem Wesen her weniger eine Produktstruktur, als vielmehr ein Strukturierungsansatz.

Die Produktstrukturtypen von SCHUH stellen die am weitesten verbreitete Kategorisierung von Produktstrukturen dar. Die Unterschiedliche Herkunft und die Entstehungsgeschichte der einzelnen Produktstrukturtypen führt dazu, dass eine Zuordnung eines Produktes auf einen der Strukturtypen oft nicht eindeutig möglich ist. In diesem Punkt erfüllt der Ansatz den Anspruch auf Überlappungsfreiheit der Produktstrukturtypen nicht.

---

[1] Vgl. dazu auch Wüpping (1993), S. 13. Wüpping zieht den Schluss, dass sich Modul- und Baukastenstruktur inhaltlich nicht trennen lassen.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 59.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass von den vier aufgeführten traditionellen Produktstrukturtypen nur Baukästen und Module alle Charakteristiken einer Produktstruktur beschreiben. Wie gezeigt wurde, sind diese beiden Typen relativ eng verwandt. Es ist daher nicht erstaunlich, dass andere Autoren den Produktstrukturbegriff mit Modularität gleichsetzen und darauf aufbauend Modularitätstypen beschreiben.

2.3.2 Modularitätstypen

Ein solcher Ansatz zur Typisierung von Produktstrukturen ist derjenige von PINE[1]. Die Produktstrukturen werden unter der Perspektive der individualisierten Massenfertigung nach der Art ihrer Modularität in sechs Klassen eingeteilt (Abb. 2–15).

Die Modularität durch Gemeinsamkeit von Bauteilen wird erreicht, indem derselbe Bestandteil in vielen Produkten eingesetzt wird. Durch den Einsatz von Gleichteilen werden Skaleneffekte erschlossen und somit Kosten gesenkt.

Im Falle der Modularität durch Austausch von Bestandteilen wird ein Standard-Ausgangsprodukt mit verschiedenartigen Anbauteilen zu einer Problemlösung kombiniert. Diese Art der Modularität unterscheidet sich logisch nicht von der Modularität durch Gemeinsamkeit von Bestandteilen. Der Unterschied besteht lediglich im Umfang des Gleichteils. Wenn sich die Gemeinsamkeit von Bauteilen auf ganze Baugruppen bezieht, ist nicht mehr klar definiert, ob das Gleichteil nun das Grundprodukt oder ein Anbauteil ist. Regeln, wo die Trennlinie zu ziehen ist, werden nicht erwähnt.

Modularität durch passenden Zuschnitt bedeutet, dass gewisse Bestandteile eines Produktes innerhalb von vorgegebenen oder praktischen Grenzen in der Grösse variabel sind, ohne die Schnittstellen zu beeinflussen. Ein praktisches Beispiel für die Anwendung dieser Art der Modularität liefern Regalhersteller. Ein Palettenregal ist so aufgebaut, dass die Säulen auf eine kundenspezifische Länge zugeschnitten werden können, um dessen verfügbare Raumhöhe optimal zu nutzen. Auch diese Art der Modularität bildet keine grundsätzlich neue Struktur im Vergleich mit den zwei zuvor angeführten Modularitätstypen, da auch hier zu einer Anzahl Standardteilen eine An-

---

[1] Vgl. Pine (1994), S. 272-286. Pine basiert mit seinem Ansatz auf Ulrich / Tung (1991).

zahl kundenspezifische Komponenten unter Festhaltung der Schnittstellen hinzugefügt wird.

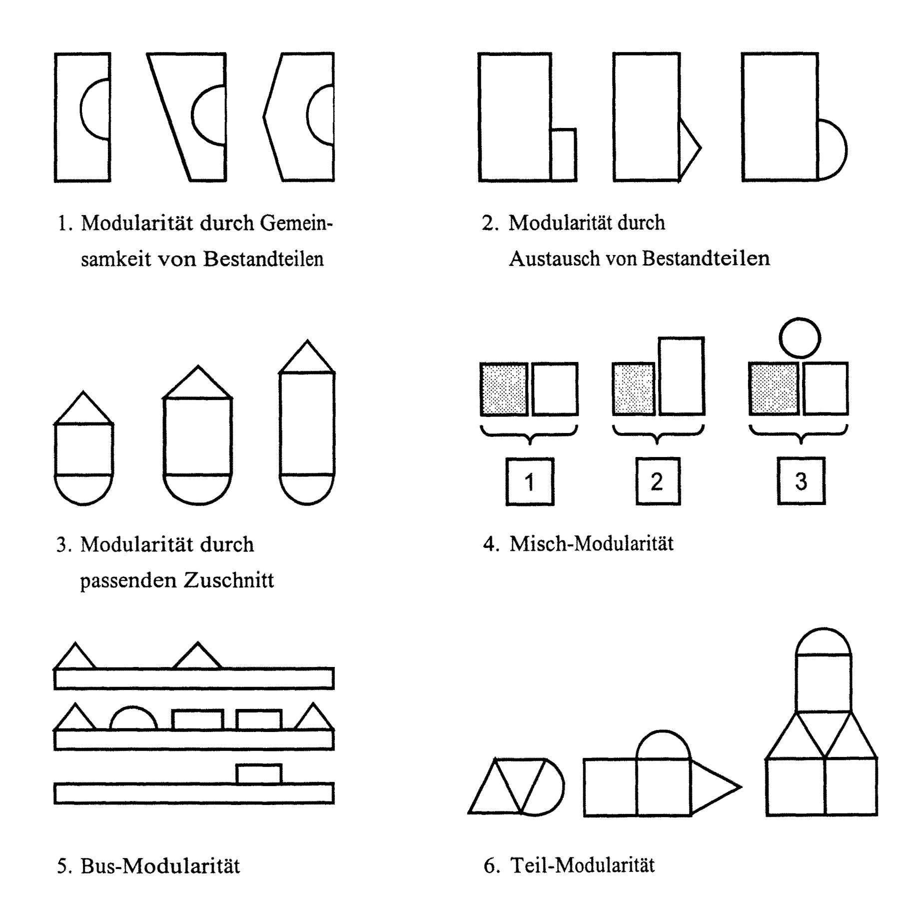


Abb. 2–15: Sechs Arten der Modularität nach PINE[1]

Mischmodularität ist eine Form, die nur auf Produkte anwendbar ist, die aus einem Gemenge von verschiedenen Substanzen bestehen. Als Beispiel werden Farben genannt, bei denen eine unendlich grosse Anzahl von Farbtönen aus einer relativ kleinen Anzahl von Grundfarben gemischt werden können.

Die Busmodularität nutzt eine Grundstruktur (Bus), an der über eine standardisierte Schnittstelle eine Anzahl Bestandteile verschiedener Art gekoppelt werden kann. Im ursprünglichen Sinn impliziert ein Bus Kommunikation. PINE fasst den Busbegriff weiter, indem er den Bus als Grundelement auffasst, an den Anbauelemente befestigt werden können[2].

Im Falle der Teilmodularität werden wiederum dieselben Prinzipien angewendet wie bei der Modularität durch Gemeinsamkeit und Austausch von Bestandteilen: Fixe Schnittstellen ermöglichen die Kombination von Standardteilen mit Variantenteilen. Der Unterschied zu den vorhergehenden Modularitätsarten liegt darin, dass der Umfang des Produktes nicht von vornherein definiert ist. Als Beispiel können wiederum Palettenregale dienen, bei denen nicht vorgegeben ist, wie viele Regalfelder nebeneinander montiert werden können. Dadurch, dass verschiedene Arten von Regalfeldern existieren, die beliebig kombinierbar sind, lassen sich unendlich viele Endproduktvarianten aus einer beschränkten Anzahl unterschiedlicher Komponenten herstellen. Ein anderes Beispiel ist das Lego-System, wo die Anzahl der Gegenstände, die mit einer endlichen Anzahl verschiedener Legosteine gebaut werden können, nur durch die Phantasie beschränkt wird. ULRICH definiert eine ähnliche Art der Modularität, die er *sectional* nennt. Kennzeichnend für eine solche Architektur ist die Tatsache, dass alle Elemente dieselbe Schnittstelle aufweisen, aber nicht über einen Bus verbunden werden[3].

Wie bereits gezeigt wurde, sind die Modularitätsarten nach PINE nicht disjunkt, denn es gibt modulare Produkte, die mehreren Modularitätsarten zugeordnet werden können. PINE selbst führt dazu die Swatch-Uhr an, die er sowohl der Modularität durch gemeinsame Bestandteile, als auch der Modularität durch Austausch von Bestandteilen zuordnet. Der sehr praxisorientierte Ansatz von PINE bringt viele interessante Aspekte in die Diskussion ein. Durch die mehrdeutige Zuordnungsmöglichkeit sind die eingangs gestellten Anforderungen an einen Typisierungsansatz jedoch nicht erfüllt.

---

[1] Quelle: Pine (1994), S. 273.

[2] Ulrich (1995), S. 424, definiert eine Bus-Architektur darüber, dass alle physischen Komponenten des Produkts über gleichartige Schnittstellen an einen gemeinsamen Bus gekoppelt sind.

[3] Vgl. Ulrich (1995), S. 424.

2.3.3 Weitere Typisierungsansätze

ZIMMERMANN führt einen Ansatz zur Bestimmung der Bevorratungsebene im Herstellungsprozess eines Produktes ein[1], der durch ZICH und KÖSTER als Produktstrukturansatz interpretiert wird[2]. Je nachdem, wie sich die Teile- und Materialvielfalt über die Fertigungsstufen verändert, wird die Bevorratungsebene anders gelegt. Die Produktstrukturtypen können nur sehr beschränkt beeinflusst werden, da sie hauptsächlich durch die Art des Produktes bestimmt werden. ZIMMERMANN sieht die Produktstrukturtypen nicht als Resultat eines Entscheidungsprozesses, sondern als Ausgangspunkt zur Festlegung der Bevorratungsebene. Der Nutzen des Ansatzes gemessen an den in Kapitel 2.2.1 gestellten Anforderungen ist deshalb gering.

Es existieren zahlreiche weitere Produkt- oder Erzeugnisstrukturansätze, die Produktstrukturen nach sehr groben Kriterien typisieren und teilweise willkürliche Zuordnungskriterien festlegen[3]. Auf diese Ansätze soll aufgrund der geringen Bedeutung für die vorliegende Arbeit nicht näher eingegangen werden.

2.3.4 Fazit zur Bildung von Produktstrukturtypen

Wie in den vorangegegangenen Abschnitten gezeigt wurde, weisen die Typisierungsansätze verschiedene Mängel auf, die an dieser Stelle noch einmal kurz zusammengefasst werden.

Die Zuordnung eines Produktes auf einen Produktstrukturtyp ist nicht eindeutig möglich. Durch die sich teilweise überschneidenden Definitionsräume sind Mehrfachzuordnungen möglich. Jede Produktstruktur ist mehr oder weniger modular, was sich durch die Interdependenz und den Integrationsgrad ausdrückt.

Die Typen Baureihen, und Pakete beschreiben die Charakteristik der Produktstruktur nicht hinreichend.

---

[1] Vgl. Zimmermann (1988), S. 403-407.

[2] Vgl. Köster (1998), S. 71-72 und Zich (1996), S. 33.

[3] So zum Beispiel die Ansätze von Schomburg (1980), Büdenbender (1991) oder Glaser et al. (1991), welche die Produktstruktur nach Anzahl der Bauteile und Gliederungsstufen in der Stückliste typisieren.

Insbesondere lassen sich aber aus den Produktstrukturtypen keine Handlungsanweisungen für die betriebliche Praxis ableiten. Die Typisierung von Produktstrukturen in der gezeigten Weise bietet also für die Produktstrukturierung keine Hilfe. Die Frage, welche Vielfalt optimal ist, oder wie modular ein Produkt aufgebaut werden soll, kann durch Anwendung eines der Produktstrukturtypen nicht beantwortet werden. Die Typisierung von Produktstrukturen stellt ein Gedankenmodell dar, das zum besseren Verständnis der Produktstruktur durchaus seine Berechtigung hat. Zur Entscheidungsfindung bei produktstrukturbezogenen Problemstellungen sind jedoch weitergehende Modelle notwendig. Dieser Aspekt wird in Kapitel 4 näher behandelt.

3 Bestehende Ansätze zur Produktstrukturierung

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das Wesen und die Eigenschaften der Produktstruktur untersucht worden sind, geht es in den folgenden Kapiteln darum, aus den gewonnenen Erkenntnissen Vorgehensweisen und Handlungsanweisungen für die betriebliche Praxis abzuleiten. Aufbauend auf bestehenden Ansätzen und Methodenbausteinen wird eine Vorgehensweise zur Produktstrukturierung erarbeitet.

3.1 Methodenbausteine zur Produktstrukturierung

In diesem Teilabschnitt werden bestehende Methodenbausteine und Massnahmen zur Produktstrukturierung vorgestellt und kritisch beleuchtet.

3.1.1 Modularisierung

Ein viel diskutierter Produktstrukturierungsansatz ist die Modularisierung. Ausgehend von einer bestehenden Produktstruktur wird die Kombinierbarkeit der Elemente erhöht. Dies führt dazu, dass aus einer gegebenen Anzahl Elementevarianten nach der Modularisierung eine grössere Anzahl von Produktvarianten erzeugt werden kann. Dies entspricht einer Verkleinerung der Interdependenz der Elemente[1]. Eine weitere Massnahme zur Erhöhung der Modularität ist die Verringerung des Integrationsgrades. Modularisierung bedeutet nicht, dass aus einem "nicht modularen" Produkt ein "modulares" gemacht wird, sondern nur, dass die Modularität erhöht wird. Als Mass für die Modularität können die Kennzahlen zur Interdependenz und zum Integrationsgrad dienen[2].

Eine Modularisierung kann auf verschiedene Weise erreicht werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Abhängigkeiten zwischen den Elementen zu verringern[3]. Dies kann durch eine geeignete Gliederung des Produktes erreicht werden. Eine andere Möglichkeit ist die Reduktion der Anzahl Schnittstellenvarianten. Hierfür wird die Bandbreite,

---

[1] Vgl. Kapitel 2.2.3.4.2.

[2] Zur Messung des Modularitätsgrades vgl. auch Chen et al. (1994).

[3] Vgl. Wüpping (1998), S. 78.

die durch eine Schnittstellenvariante abgedeckt wird, vergrössert. Im Extremfall wird nur noch eine standardisierte Schnittstellenvariante eingesetzt. Die Anzahl der Schnittstellenvarianten kann von Schnittstelle zu Schnittstelle variieren.

RATHNOW nennt als Vorteil der erhöhten Modularität, dass eine hohe Endproduktevielfalt mit nur begrenzten Innenwirkungen realisiert werden kann[1]. Dies bedeutet, dass eine Vielzahl von Varianten desselben Moduls mit derselben Prozessvariante in der Herstellung abgefahren werden kann und somit die Anzahl der Störungen im Fertigungsprozess, also der Umrüstungen, tief gehalten werden kann. Die Grenzen der Modularisierung liegen in der tendenziellen Überdimensionierung der Modulschnittstellen und in der Heterogenität der Endprodukte[2].

Eine Richtlinie von PINE zur Strukturierung von Produkten besagt, dass das Produkt so in Module eingeteilt werden soll, dass möglichst alle kundenspezifischen Teile in Anbaumodule gepackt werden. Dies soll ermöglichen, dass ein grosser Anteil des Produktes standardisiert hergestellt werden kann. Dadurch, dass ein grosser Teil des Kundennutzens in diese Anbauteile gelegt wird, wird eine hohe Kundenbezogenheit erreicht, ohne unnötige Komplexität zu erzeugen[3].

Modularisierung ist in jüngerer Zeit zum gerne verwendeten Schlagwort geworden. Sie darf jedoch nicht als Wunderwaffe verstanden werden, die alle Vielfaltsprobleme lösen kann. Dem Nutzen der grösseren Modularität stehen erhöhte Kosten in der Produktentwicklung und höhere Einzelkosten durch Überdimensionierungen gegenüber.

3.1.2 Paketbildung

Die bereits in Kapitel 2.3.1.4 angesprochene Produktstrukturierung durch Bildung von Paketen entspricht logisch einer Umkehrung der Modularisierung. Die Anzahl der möglichen Produktvarianten wird bei unveränderter Vielfalt der Elemente eingeschränkt, die Modularität des Produktes also verringert. Die Bildung von Paketen entspricht einer künstlichen Erhöhung der Interdependenz der Elemente. Durch die Paketbildung wird nicht die Anzahl der Ausprägungen von Produktmerkmalen ver-

---

[1] Vgl. Rathnow (1993), S. 109-110.

[2] Vgl. Rathnow (1993), S. 110.

[3] Vgl. Pine (1994), S. 275-276.

ringert, sondern die Ausprägungen verschiedener Merkmale werden miteinander verknüpft. Umgekehrt entspricht jedoch nicht jede Verknüpfung von Merkmalen einer Paketbildung.

Vorteil der Paketbildung ist die schnelle Realisierbarkeit einer Reduktion der Endproduktvarianten, ohne dass die physische Produktstruktur geändert werden muss. Nachteilig wirkt sich aus, dass durch diese Form der Variantenreduktion die interne Komplexität kaum verringert wird.

Grundsätzlich stellt sich bei der Modularisierung und der Paketbildung dieselbe Frage: Welcher Grad der Modularität eines Produktes ist bei den gegebenen Rahmenbedingungen optimal? Diese Frage wird im Kapitel 4.2 dieser Arbeit näher untersucht.

3.1.3 Normteile und Gleichteile

Durch Normung und Typung[1] wird versucht, die Lösungsvielfalt von Konstruktionselementen zu reduzieren[2]. Dadurch sollen einerseits durch einen erhöhten Wiederverwendungsgrad Mengeneffekte erschlossen, und andererseits eine Austauschbarkeit von Bestandteilen erreicht werden[3]. Die Standardisierungsbestrebungen beziehen sich auf das gesamte Produktprogramm. Als Vorteile einer reduzierten Teilevielfalt sind zu erwähnen:

- Vereinfachte Angebotserstellung
- Wiederverwendung von Unterlagen zur Zeichnungs- und Arbeitsplanerstellung
- Erhöhte Fertigungsstückzahlen und Einkaufsvolumina
- Vereinfachungen im Ersatzteilwesen
- Verringerung der erforderlichen Anzahl Werkzeuge, Vorrichtungen und Messmittel[4].

---

[1] Bei betriebsbezogenen Standardisierungsmassnahmen wird von Typung gesprochen, bei solchen mit überbetrieblicher Verbindlichkeit von Normung. Vgl. auch Hahn / Lassmann (1990), S. 172-180.

[2] Vgl. Eversheim (1989 b), S. 157.

[3] Vgl. Eversheim (1990 b), S. 123.

[4] Vgl. Eversheim (1990 b), S. 126.

Unternehmen versuchen den Wiederverwendungsgrad zukunftsgerichtet zu erhöhen, indem den Konstrukteuren Kataloge mit Vorzugsteilen zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere auch in der Elektronikindustrie ist diese Massnahme weit verbreitet. Zusätzlich wird versucht, durch Konstruktionsrichtlinien die Teilevielfalt und die Vielfalt der benötigten Werkzeuge tief zu halten[1].

In eine ähnliche Richtung zielt auch die Bildung von Teilefamilien. Die Familienbildung erfolgt entweder nach Form- oder nach Fertigungsähnlichkeit. Nutzen der Teilefamilienbildung ist eine verringerte Teilevielfalt, eine Vereinheitlichung von Arbeitsabläufen, sowie eine Verminderung des Konstruktions- und Planungsaufwands[2]. Die hauptsächliche Anforderung, die sich daraus an die Produktstruktur ergibt, ist die möglichst weitgehende Vermeidung von rein konstruktiven Varianten für dieselbe Funktionalität.

Dieselben Zielsetzungen wie mit der Normung und der Bildung von Teilefamilien werden auch durch den Einsatz von Gleichteilen verfolgt[3]. Der Schwerpunkt liegt hier jedoch auf dem Bestreben, bei verschiedenen Varianten desselben Produkts einen möglichst grossen Anteil Gleichteile zu erreichen[4].

Normung und Einsatz von Gleichteilen bringen jedoch nicht nur Vorteile, sondern können auch kontraproduktive Wirkungen hervorrufen. Die Optimierung verursacht Aufwand für die Abstimmung verschiedener Unternehmensfunktionen, für den Suchvorgang nach den Teilen, die Planung der Produktvarianten, sowie unter Umständen erhöhte Materialkosten für Teile mit grösserem Funktionsumfang. Dies führt dazu, dass ein optimaler Grad der Normung existiert[5].

---

[1] Vgl. Eversheim (1990 b), S. 126-130.

[2] Vgl. Habenicht (1996), Sp. 2041-2044, Göttker (1990) S. 11-35, Eversheim (1989 b), sowie Zimmermann (1988), S. 15-16.

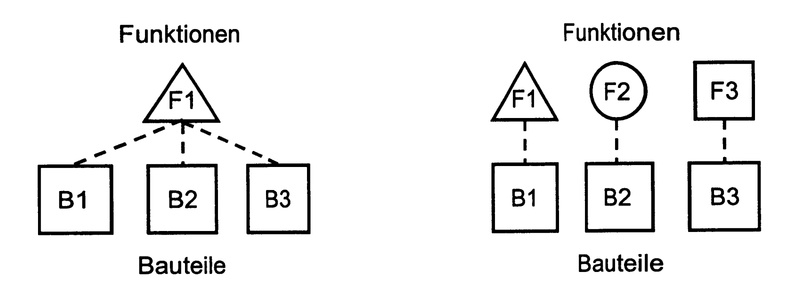
[3] Beim Mehrfacheinsatz gleicher Teile in einem Produkt wird von Gleichteileverwendung gesprochen, beim Einsatz gleicher Teile in unterschiedlichen Produkten von Wiederholteilen. Vgl. Ehrlenspiel (1995), S. 614.

[4] Vgl. hierzu auch den Abschnitt 3.2.3.

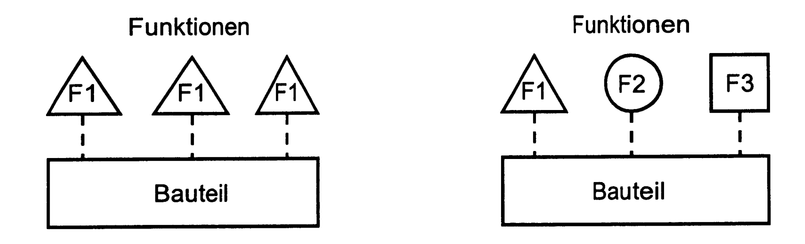
[5] Vgl. Zich (1996), S. 106.

3.1.4 Differential- und Integralbauweise

Differential- und Integralbauweise bilden konstruktive Massnahmen, um durch einen optimalen Integrationsgrad die Kostenposition zu verbessern (Abb. 3–1).



1. Differentialbauweise mit einer und mehreren Funktionen



2. Integralbauweise mit gleichen und verschiedenen Funktionen

Abb. 3–1: Differential- und Integralbauweise von Bauteilen[1]

Die Differentialbauweise von Teilen basiert auf der Zerlegung von Funktionsträgern in mehrere Anbauteile. Mit dieser Massnahme können verschiedene Ziele verfolgt werden. Prinzipiell wird versucht, innerhalb der Varianten eines Funktionsträgers einen Gleichteileumfang zu schaffen. Dadurch wird einerseits die Entstehung der Varianz in die Montage verlegt, andererseits kann für den Gleichteileumfang eine grössere Wiederholhäufigkeit erzeugt werden. Ein weiterer Grund für den Einsatz der

[1] Quelle: Darstellung in Anlehnung an Koller (1985), S. 100.

Differentialbauweise kann die leichtere Handhabung der Teile sein, wenn deren Abmessungen oder Masse bei Integralbauweise behindernd wirken[1].

Die Integralbauweise entspricht dem Gegenteil der Differentialbauweise. Die Teilevielfalt wird reduziert, indem mehrere Funktionen in einem Bauteil zusammengefasst werden. Auch hier wird versucht, die Wiederholhäufigkeit zu erhöhen. Zudem lassen sich durch die Integralbauweise Fertigungsschritte einsparen, indem zum Beispiel mehrere Einzelteile mit zugehöriger Montage durch einen einzigen Spritzgussteil aus Kunststoff ersetzt werden[2]. Der Einsatz von Differential- und Integralbauweise muss fallweise geprüft werden; ein Anwendungsrezept besteht nicht.

3.1.5 Sortimentsbereinigung

Untersuchungen haben gezeigt, dass erfolgreiche Unternehmen weit weniger Produktvarianten haben, als weniger erfolgreiche Unternehmen. Erfolgreiche Unternehmen haben erkannt, dass etwa 90% der Komplexität für nur 10% der Kunden erzeugt werden (Abb. 3–2).

---

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 60, sowie Andreasen et al. (1985), S. 105-106 und Koller (1985), S. 100-109. Koller unterscheidet weiter zwischen Partial- und Differentialbauweise, je nachdem ob der Funktionsträger eine oder mehrere Funktionen übernimmt.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 60, sowie Andreasen et al. (1985), S. 103-104 und Koller (1985), S. 100-109. Koller unterscheidet weiter zwischen Total-, Integral-, und Multifunktionalbauweise, je nachdem ob der Funktionsträger eine oder mehrere gleiche oder verschiedene Funktionen übernimmt.

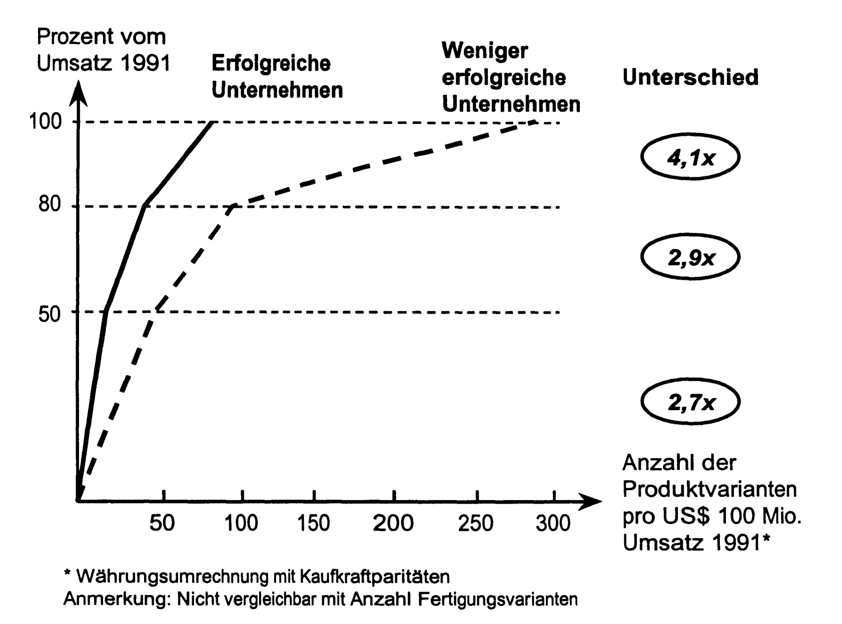


Abb. 3–2: ABC-Analyse der Produktvarianten[1]

Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich zudem die Situation weiter verschärft. Durch Marktsättigung und Verdrängungswettbewerb hat sich die Variantenvielfalt drastisch erhöht. Aufgrund der meistens wert- oder volumenorientierten Verrechnung von Gemeinkosten werden Exoten des Produktspektrums oft unter den tatsächlichen Kosten angeboten[2]. Dies führt dazu, dass die Standardprodukte, welche die Hauptlast der Gemeinkosten tragen, zu teuer angeboten werden, und in diesem Bereich ein Wettbewerbsnachteil entsteht (Abb. 3–3). Eine mögliche Lösung dieses Problems ist die verursachungsgerechte Zuweisung der Gemeinkosten durch die Prozesskostenrechnung.

[1] Quelle: Kluge et al. (1994), S. 48.

[2] Vgl. Schuh / Tanner (1995), S. 36-37.

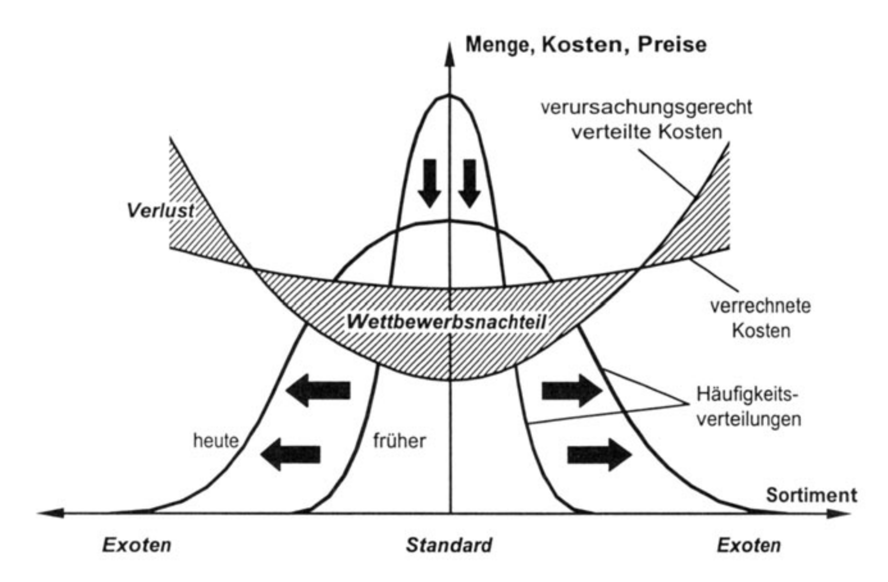


Abb. 3–3: Entwicklung der Häufigkeitsverteilung von Produkten[1]

Doch auch bei verursachungsgerechter Zuweisung von Gemeinkosten müssen Produkte mit kleinem Volumen und ohne strategische Bedeutung aus dem Sortiment entfernt werden. Mit Hilfe von ABC-Analysen können C-Produkte mit geringem Umsatz ermittelt und eliminiert werden[2].

Leider hat die Erfahrung gezeigt, dass mit einer Sortimentsbereinigung verschiedene Probleme verbunden sind. Eine vollständige Streichung eines Produktes ist aufgrund von Nachlieferungen oft schwierig. Kunden wollen häufig noch nach Jahren Produktvarianten bestellen, die längst aus allen Verkaufsunterlagen verschwunden sind: Zu den vorhandenen Bürotischen sollen noch zwei desselben Typs hinzukommen. Verstärkend auf diese Tendenz wirkt sich die Tatsache aus, dass viele Vertriebsmitarbeiter nach Umsatz provisioniert werden und daher keinen Anreiz haben, den Kunden von einer anderen Lösung zu überzeugen.

---

[1] Quelle: Schuh / Tanner (1995), S. 36.

[2] Vgl. Hichert (1985), S. 237.

Ein weiteres Problem der Sortimentsbereinigung ist die sogenannte Kostenremanenz[1]: Kosten, die durch die grössere Variantenvielfalt entstanden sind, lassen sich nur noch bedingt oder langfristig abbauen (Abb. 3–4). Hierzu gehören zum Beispiel Investitionen in flexible und daher teurere Maschinen oder in EDV-Systeme.

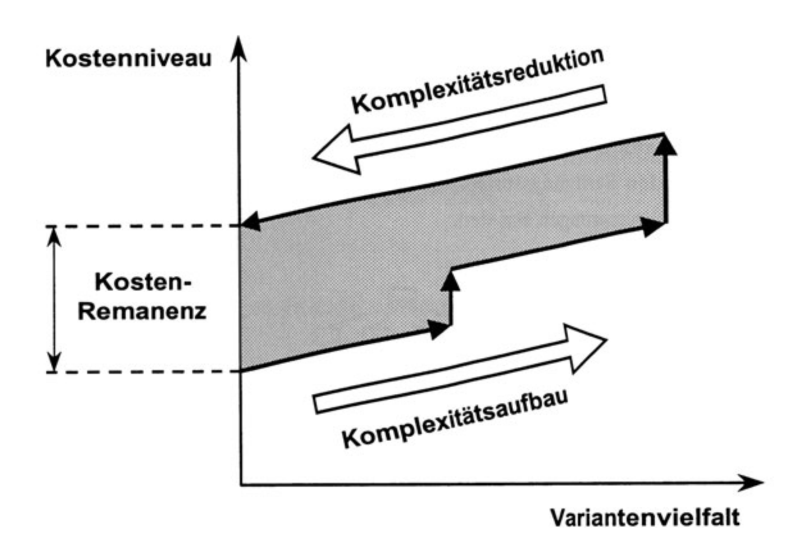


Abb. 3–4: Hystereseeffekt beim Komplexitätsaufbau und -abbau[2]

Durch eine Sortimentsbereinigung wird ausserdem die Komplexität des Produktionsprozesses nicht notwendigerweise verkleinert[3]. Abb. 3–5 a.) zeigt einen Ausschnitt der Produktionsstruktur von Kupferdrähten bei einem Hersteller von Kabeln. Aus einer Variante des Ausgangsmaterials von 8 mm Durchmesser werden in einem ersten Schritt vier Durchmesservarianten von Grobzügen hergestellt. Die meisten Grobzüge werden in einem nächsten Schritt mit verschieden dicken Zinnschichten versehen. Auf einer weiteren Ziehstufe werden die Drähte auf feinere Durchmesser gezogen, die teilweise schon Endprodukte darstellen. Bis hier sind zwölf Varianten entstanden. Besonders feine Drähte können nur durch zufügen einer weiteren Ziehstufe gefertigt werden. Nach diesem letzten Schritt, dem sogenannten Feinzug, sind insgesamt 14

[1] Vgl. Hichert (1986 b), S. 673 ff.

[2] Quelle: Hichert (1986 b), S. 674, dargestellt nach Caesar (1991), S. 14 und Kaiser (1995), S. 31.

[3] Vgl. Hichert (1986 a), S. 142 für Zusammenhänge zwischen Produktvarianten und Teilevarianten.

Produktvarianten vorhanden. Durch eine ABC-Analyse wurden die Produktvarianten ermittelt, welche geringe Mengen aufweisen. Abb. 3–5 b.) zeigt die Produktionsstruktur nach der geplanten Sortimentsbereinigung. Offensichtlich führt in diesem speziellen Fall die Sortimentsbereinigung bezogen auf die Komplexität in der Fertigung zu keiner wesentlichen Verbesserung. Erst durch eine zusätzlich durchgeführte Produktstrukturierung (Abb. 3–5 c.)) kann die Komplexität in der Fertigung erheblich gesenkt werden. Die Anzahl der Grobzugvarianten wird auf eine, und die Zinnschichtdicken werden auf zwei Varianten reduziert. Die zusätzlichen Materialkosten für das Zinn werden durch die eingesparten Rüstkosten mehr als wettgemacht. Auf den folgenden Fertigungsstufen lassen sich auch durch die Produktstrukturierung keine weiteren Einsparungen erzielen.

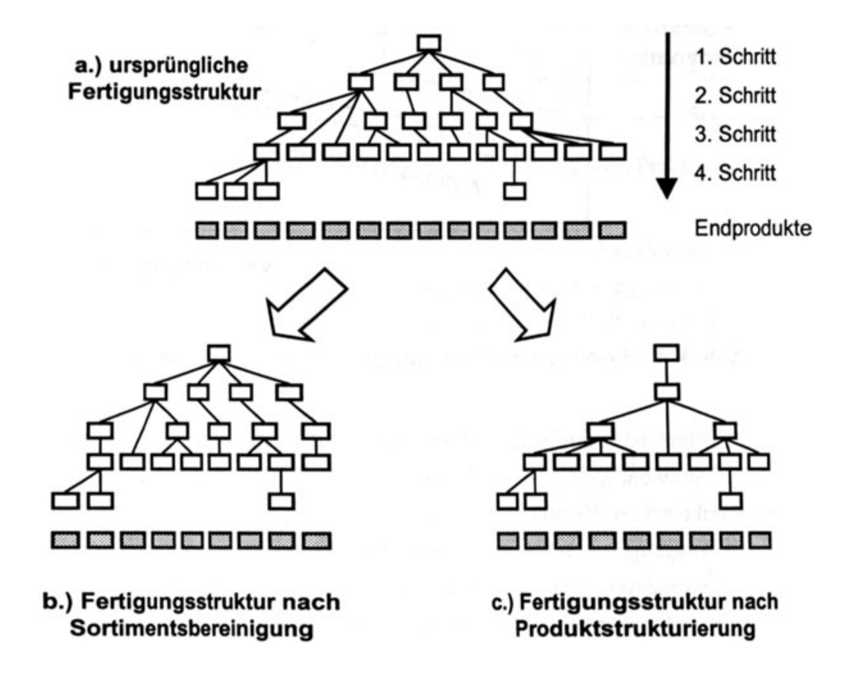


Abb. 3–5: Sortimentsbereinigung verringert die Fertigungskomplexität nicht zwingend

Wie dieses Beispiel zeigt, lässt sich die Komplexität nur durch eine Sortimentsbereinigung mit gleichzeitiger Produktstrukturierung abbauen. Da eine Produktstruktu-

rierung jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden ist, muss das Augenmerk vor allem auf die Vermeidung unnötiger Komplexität gelegt werden[1].

3.2 Umfassende Strukturierungsansätze

Produktstrukturierungsansätze geben Handlungsanweisungen, wie eine verbesserte Produktstruktur erreicht werden kann, oder wie ein neues Produkt strukturiert werden soll. In der Literatur finden sich zahlreiche Ansätze zur Produktstrukturierung, deren wichtigste Vertreter im folgenden vorgestellt werden.

3.2.1 Anforderungen an einen Produktstrukturierungsansatz

Im folgenden sollen die Anforderungen dargestellt werden, die sich an einen Ansatz zur Produktstrukturierung ergeben.

Ein Ansatz zur Produktstrukturierung soll sowohl zur Verbesserung einer bestehenden, als auch zur Erarbeitung einer neuen Produktstruktur eingesetzt werden können. Es sollen *keine Einschränkungen zur Anwendbarkeit* für bestimmte Produkte oder Branchen gemacht werden müssen, so dass der Ansatz für jedes Produktstrukturierungsproblem eingesetzt werden kann.

Im weiteren soll der Ansatz *umfassend* die technisch und wirtschaftlich relevanten Aspekte einer Produktstrukturierung berücksichtigen, sowie eine *durchgängige* Vorgehensweise zur Lösung von produktstrukturbezogenen Problemen bieten.

Als weitere Anforderung soll der Ansatz *Entscheidungshilfen* sowohl für Probleme der Vielfalt, als auch für Probleme der Abhängigkeit zwischen Elementen bieten.

---

[1] Vgl. Rathnow (1993), S. 164 ff.

3.2.2 Designprinzipien für agile Systeme

Unter dem Fokus der agilen Produktion stellt DOVE Design-Prinzipien auf, wie agile Systeme[1] zu gestalten sind. Diese lassen sich zum Teil auch auf die Strukturierung von Produkten anwenden[2]. Die Design Prinzipien werden unter dem Begriff RRS (*reusable – reconfigurable - scalable*) zusammengefasst, was mit *wiederverwendbar – rekonfigurierbar – skalierbar* zu übersetzen ist. Tab. 3–1 zeigt eine Aufstellung dieser Designprinzipien.

Grundsatz	*Designprinzipien*
Wiederverwendbar	Unabhängige Einheiten Steck-Kompatibilität Erleichterte Wiederverwendung
Rekonfigurierbar	Nicht-hierarchische Interaktion Verzögerte Bindungen Verteilte Steuerung und Information Selbstorganisierende Beziehungen
Skalierbar	Flexible Kapazitäten Einheits-Redundanz Entwicklungsfähige Standards

Tab. 3–1: Designprinzipien für agile Systeme[3]

Die Forderung nach *unabhängigen Einheiten* entspricht einem Aufbau aus einzelnen, trennbaren und unabhängigen Einheiten[4]. Änderungen der Eigenschaften eines Elements beeinflussen die anderen Elemente nicht. Dieses Prinzip entspricht einer modu-

[1] Dove (1995 a) definiert ein System als *organization of interacting units*. Eine Produktstruktur kann nach dieser Definition als System aufgefasst werden.

[2] Vgl. Dove (1995 a), sowie Dove (1995 b).

[3] Quelle: Dove (1995 b).

[4] Vgl. Dove (1995 a).

laren Produktstruktur nach der Definition von BALDWIN / CLARK[1]. Eine Produktstruktur ist also desto flexibler, je modularer sie aufgebaut ist.

Die Elemente des Systems sollen gemeinsame Interaktions- und Schnittstellenstandards aufweisen und deshalb einfach eingefügt oder entfernt werden können. Die Forderung nach *Steckkompatibilität* entspricht einer Erweiterung der Forderung nach unabhängigen Einheiten. Die Einheiten sollen auch nach Fertigstellung des Produktes einfach austauschbar sein. Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass die Steckkompatibilität nur dann Sinn macht, wenn die Materialeinzelkosten für die Steckverbindungen gegenüber den nicht auflösbaren Verbindungen nicht entscheidend höher sind.

Durch die funktionale Abgrenzung und Selbständigkeit der Systemeinheiten soll eine *erleichterte Wiederverwendbarkeit* und die schnelle Konfigurierbarkeit eines Systems aus Elementen sichergestellt werden. Module sollen durch Konfigurationsteams entwickelt werden, welche die volle Verantwortung für Neuentwicklung, Änderung, Unterhalt und Anpassung des Moduls tragen. Dadurch soll eine Kontinuität im Lebenszyklus eines Moduls geschaffen werden, welche die Wiederverwendbarkeit erleichtert. Bezogen auf die Produktstruktur hat das Team sicherzustellen, dass die Modulschnittstellen auch bei einer neuen Modulumgebung unverändert bleiben. Dies impliziert eine möglichst auf Langlebigkeit ausgelegte Moduleinteilung.

Durch *nicht-hierarchische Interaktion* von Elementen soll erreicht werden, dass bei einer Änderung von Elementen möglichst wenige Schnittstellen betroffen sind. Wenn die Interaktion über ein Drittmodul erfolgt, so sind bei einer Änderung mehr Schnittstellen betroffen, als wenn die Interaktion direkt erfolgt. Als Gegenbeispiel zu dieser These lässt sich die Architektur eines Personal Computers anfügen. Funktionseinheiten sind nicht direkt, sondern über einen Bus gekoppelt. Dadurch kann die Anzahl der Schnittstellen tief gehalten werden und der Austausch einer Karte ist problemlos möglich.

Sämtliche Entscheide zur Produktstruktur sollen zum spätestmöglichen Zeitpunkt erfolgen. Durch diese *verzögerten Bindungen*[2] soll eine maximale Flexibilität erreicht werden, um auf ein sich änderndes Umfeld des Produktes möglichst lange reagieren zu

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1997), S. 86.

[2] Vgl. Dove (1995 a).

können. Dieser Grundsatz gilt für diejenigen Fälle, wo Abhängigkeiten zwischen Elementen des Produktes nicht aufgelöst werden können. Bezogen auf die Produktion bedeutet dieser Grundsatz, dass das Produkt so strukturiert sein soll, dass eine möglichst weitreichende auftragsneutrale Vorfertigung erreichbar ist.

Durch *verteilte Steuerung und verteilte Information* soll erreicht werden, dass möglichst wenige Abhängigkeiten zwischen den Modulen bestehen. Informationen werden lokal gehalten, sind aber global verfügbar. Dies führt zu einer reduzierten Produktkomplexität.

Der Grundsatz der *selbstorganisierenden Beziehungen* fordert, dass sich die Einheiten eines Systems dynamisch verknüpfen und sich gegenseitig abstimmen. Durch selbstorganisierende Beziehungen zwischen den Elementen einer Produktstruktur wird eine grösstmögliche Flexibilität bezogen auf die Konfiguration des Systems erreicht. Als Beispiel sei hier das Prinzip des Plug-and-Play bei elektronischen Produkten erwähnt.

Durch *flexible Kapazitäten* soll erreicht werden, dass mit derselben Produktstruktur der gesamte marktseitig geforderte Bereich eines Merkmals abgedeckt werden kann. Die verschiedenen Ausprägungen werden nicht durch verschiedene Elementvarianten, sondern durch Variation der Anzahl derselben Elementvariante erreicht. Ein Beispiel hierfür sind die Hauptspeicherbausteine bei Personal Computern. Um eine Verdoppelung der Speicherkapazität zu erreichen, wird nicht ein anderer, grösserer Speicherbaustein eingesetzt, sondern lediglich die Anzahl der bestehenden Bausteine verdoppelt.

Durch redundante Anteile in der Produktstruktur soll die Fehlertoleranz des Systems erhöht werden[1]. Zum Prinzip der *Einheiten-Redundanz* muss allerdings einschränkend erwähnt werden, dass Redundanz nicht kostenlos zu haben ist. Die Anwendung dieses Grundsatzes auf die Produktstrukturierung sollte deshalb nur dann erfolgen, wenn die Redundanz marktseitig entsprechend honoriert wird.

Die Schaffung von *entwicklungsfähigen Standards* führt zu einem offenen Systemumfeld, welches in der Lage ist, verwandte, allgemeine und auch neue Einheiten aufzunehmen. Die Produktstruktur sollte so gegliedert sein, dass zukünftige Entwick-

---

[1] Für weiterführende Angaben zum Thema Redundanz wird auf Birolini (1991), S. 40-48 verwiesen.

lungen mit möglichst geringem Aufwand gemacht werden können. Idealerweise ist der Lebenszyklus der Produktstruktur viel länger als derjenige der Module. Als Beispiel hierfür kann das Plattformkonzept der Firmen VW / Audi / SEAT / Škoda dienen[1].

Die Design-Prinzipien von DOVE sind auf eine ganz spezielle Zielsetzung ausgerichtet: die Förderung der Agilität eines Unternehmens. Entsprechend können die Prinzipien nicht in jedem Fall uneingeschränkt angewendet werden. Trotz dieser Einschränkung beinhaltet der Ansatz jedoch viele interessante Aspekte.

3.2.3 Das Plattformkonzept

Eine Plattform ist eine Sammlung von Werten, die durch einen Satz von Produkten gemeinsam genutzt werden[2]. Diese Werte werden in die vier Kategorien *Komponenten*, *Prozesse*, *Wissen*, sowie *Menschen und Beziehungen* eingeteilt[3]. MEYER / LEHNERD definieren eine Plattform etwas enger gefasst als Satz von Subsystemen und Schnittstellen, die eine gemeinsame Struktur bilden, von der ausgehend effizient eine Reihe von abgeleiteten Produkten entwickelt und produziert werden kann[4]. Produktplattformen sind eng an die Kernkompetenzen eines Unternehmens gekoppelt[5].

Das Plattformkonzept zielt einerseits darauf ab, durch Vorausplanung von Produktfamilien den Gleichteileanteil über verschiedene Produktvarianten zu erhöhen: Die Produktstruktur soll für jedes Produkt möglichst gleich sein[6]. Andererseits wird versucht, Baugruppen über mehrere Produktgenerationen einzusetzen, sowie den Innovationszyklus zu verkürzen, indem nicht immer das gesamte Produkt neu entwickelt wird. Gegenüber der klassischen Gleichteileplanung verändert sich vor allem der Betrachtungsumfang. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt nicht mehr nur auf einem Produkt, sondern erfolgt produktfamilienübergreifend. Der zeitliche Rahmen der

---

[1] Vgl. Stegers (1997).

[2] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), S. 20.

[3] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), S. 20. Meyer / Lehnerd (1997), S. 44 nennen diese und ähnliche Faktoren den "Treibstoff für Produktplattformen".

[4] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 7 und S. 39.

[5] Vgl. Meyer / Utterback (1993), S. 33.

[6] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 39.

Betrachtung hat sich von der aktuellen Produktgeneration auch auf zukünftige Produktgenerationen erweitert (Abb. 3–6).

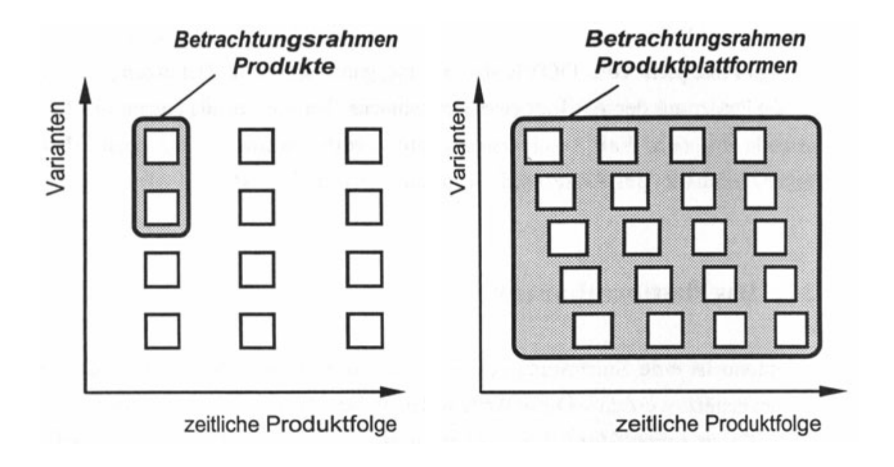


Abb. 3–6: Produktplattformen erfordern einen erweiterten Betrachtungshorizont

In der Literatur sind verschiedene Vorgehensweisen und Ansätze zur Bildung von Produktplattformen beschrieben worden, von denen einige besprochen werden sollen.

ROBERTSON / ULRICH teilen den Plattformplanungsprozess in drei Planungsschritte auf (Abb. 3–7).

Der Produktplan gibt Aufschluss darüber, welche Modellkonzepte und Varianten zu welcher Zeit am Markt angeboten werden sollen. Dies umfasst auch Informationen über Zielkunden und über die wichtigsten Optionen, die bei den verschiedenen Produktversionen verfügbar sein sollen. Ergänzend zum Produktplan wird ausserdem ein Business-Plan für den Lebenszyklus der Plattform erstellt.

Die Differenzierung der Produktvarianten und die Gemeinsamkeit von Bestandteilen muss gegeneinander abgewogen werden. Deshalb wird ein Differenzierungsplan und ein Gemeinsamkeitsplan erstellt. Der Differenzierungsplan enthält die hauptsächlichen Unterscheidungsmerkmale zwischen den Produktvarianten. Dabei wird besonderes Augenmerk darauf gelegt, wie die ausgewählten Kundengruppen angesprochen werden sollen.

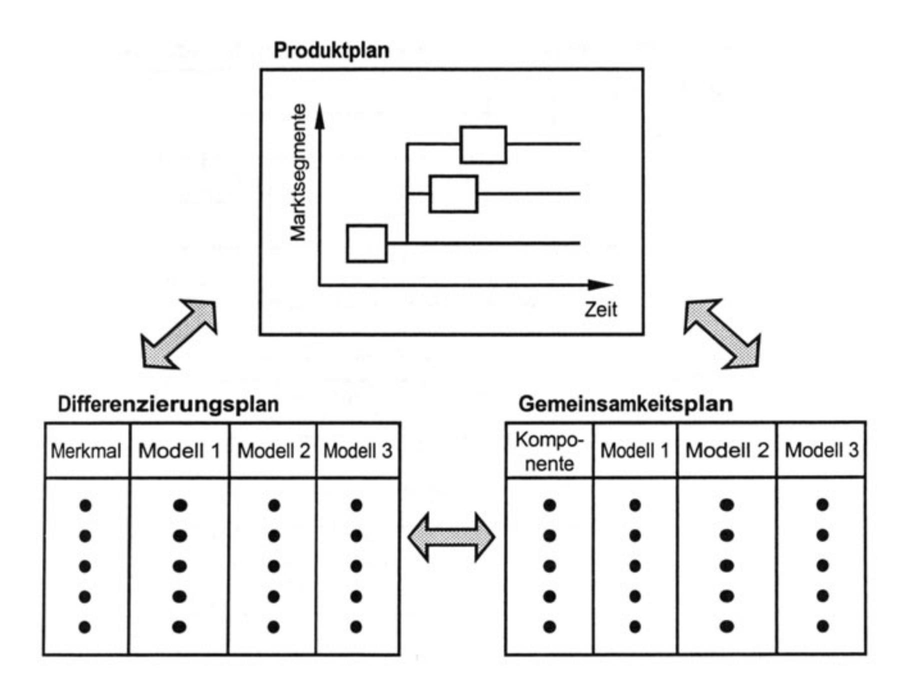


Abb. 3–7: Der Plattform-Planungsprozess[1]

Die Planung von Gemeinsamkeit wird auf Stufe Baugruppe durchgeführt. Der Gemeinsamkeitsplan enthält pro Baugruppe Informationen über die Anzahl der spezifischen Teile, über Entwicklungs- und Herstellkosten, sowie über gemeinsam genutzte Teile. Basierend auf der Wichtigkeit der differenzierenden Merkmale und den differenzierungsgetriebenen Kosten für die Baugruppen werden Schwerpunkte gebildet und die Pläne für Differenzierung und Gemeinsamkeit iterativ angepasst[2].

MEYER / LEHNERD stellen zur Entwicklung von Plattformen ein integratives Modell für Produkt- und Prozessinnovation vor, welches sie *Power Tower* nennen.

---

[1] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), S. 23.

[2] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), S. 23-29.

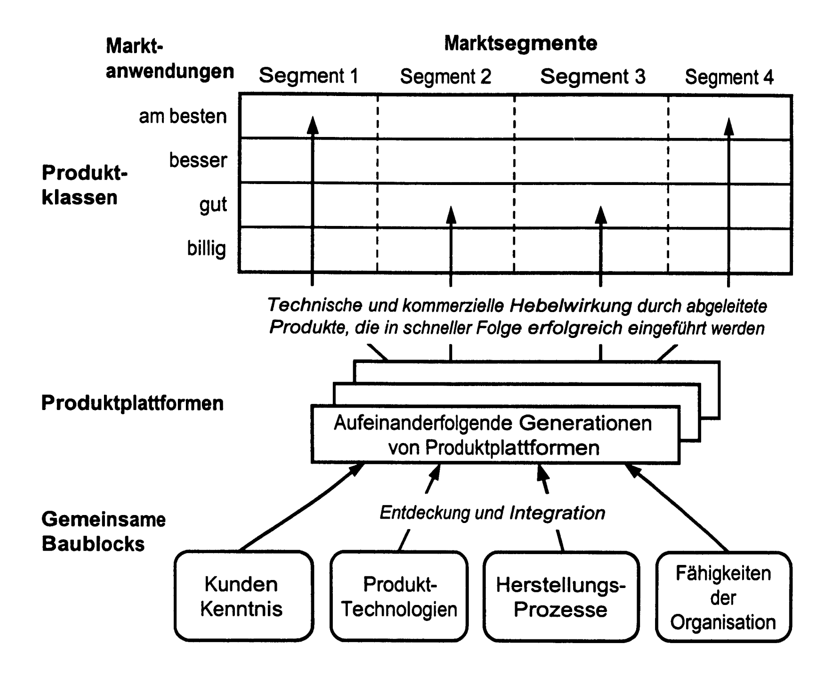


Abb. 3–8: „Power Tower" als Modell für Produkt- und Prozessinnovation[1]

Die Analyse der Marktanwendungen geschieht durch eine Segmentierung und eine Aufteilung der Produktvarianten nach Preis- und / oder Leistungskriterien. Die Produktvarianten werden aus den Plattformen abgeleitet, was eine schnelle und erfolgreiche Einführung ermöglicht. Die Plattformen selbst werden im Laufe der Zeit erweitert und angepasst. Eine grundsätzlich neue Plattform wird jedoch nur entwickelt, wenn sich die Produktstruktur grundlegend ändert. Die Entwicklung der Plattformen erfolgt durch Ausnutzen von gemeinsamen Baublöcken auf verschiedenen Ebenen. Diese Blöcke entspringen der Analyse von Kundenwünschen und Konkurrenzprodukten, Produkttechnologien, Fertigungstechnologien, sowie organisatorischen Fähigkeiten.

Der Prozess einer Produktplattformentwicklung wird in fünf Schritte eingeteilt[2]:

1. Definieren einer neuen Plattformstrategie.

---

[1] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 235.

[2] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 235 ff.

2. Bestimmen der Kernbaublöcke der neuen Plattform.
3. Aufbauen eines Baugruppenkonzepts und zusammenstellen der benötigten Baublöcke.
4. Entwickeln eines Fahrplans zur Markteinführung von Produktvarianten und Plattformverbesserungen.
5. Organisation und Empowerment des Entwicklungsteams für die Plattform und die daraus abgewandelten Produktvarianten.

Zur Bestimmung der Plattformstrategie wird in einer ersten Phase eine Marktsegmentierung durchgeführt. Anschliessend wird die Grösse der einzelnen Segmente bestimmt, die Wachstumsrate der Segmente geschätzt, der eigene Marktanteil berechnet und Information über die Produkte der Marktführer der einzelnen Segmente beschafft. Ausgehend von diesen Informationen wird eine Plattformstrategie ausgewählt. Die Plattformstrategie gibt Auskunft darüber, in welcher Reihenfolge die Segmente und Produktklassen durch die Plattform erschlossen werden sollen[1].

Im nächsten Schritt werden die Kernbaublöcke der Plattform bestimmt. Baublöcke können in die Kategorien Kundenkenntnis, Produkttechnologien, Herstellungsprozesse und Fähigkeiten der Organisation eingeteilt werden. Die festgestellten Hauptblöcke werden aufgeteilt in vorhandene Fähigkeiten, am Markt erhältliche Fähigkeiten und aufzubauende Fähigkeiten. Hauptblöcke, welche nur unternehmensintern verfügbar sind, bilden die Kernkompetenzen des Unternehmens[2].

Ausgehend von erkannten Kundenbedürfnissen werden in der nächsten Phase Plattformziele definiert. Die bestehenden Produkte werden bezüglich ihrer Produktstruktur analysiert. Verschiedene alternative Konstruktionen werden nach ihrer Komplexität verglichen. MEYER / LEHNERD postulieren, dass Lösungen mit geringer Komplexität zu bevorzugen seien[3]. Die Komplexität wird berechnet als dritte Wurzel aus dem

---

[1] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 52-82.

[2] Vgl. Prahalad / Hamel (1991), S. 66 ff., sowie Meyer / Lehnerd (1997), S. 238.

[3] Die praktische Erfahrung des Verfassers hat gezeigt, dass diese Aussage so zu pauschal ist. Es lassen sich Beispiele anführen, wo komplexere Lösungen den weniger komplexen überlegen sind. Die Untersuchungen während eines Beratungsprojektes bei einem weltweit führenden Hersteller von Elektronik für die Telekommunikation haben gezeigt, dass der Schaltungsaufbau mit diskreten Bauteilen auch bei Stückzahlen von bis zu 100'000 günstiger war, als die Anwendung eines weniger komplexen ASIC.

Produkt von Teileanzahl, Teilevielfalt und Schnittstellenanzahl[1]. Die bestehenden Lösungen von Subsystemen werden mit denen der schärfsten Konkurrenten verglichen und sowohl kosten-, als auch funktionsmässig bewertet. Daraus werden die elegantesten Lösungen gewählt und unter Verwendung günstiger Fertigungsprozesse umgesetzt. Zu berücksichtigen ist, dass die Architektur genügend Freiheitsgrade aufweisen muss, um Produktlinienerweiterungen zu erleichtern[2].

Ein Zeitplan gibt Aufschluss darüber, wann die verschiedenen Varianten der Produktfamilie und die Plattformerweiterungen am Markt eingeführt werden sollen. Im weiteren sind durch diesen Plan die Marktzyklen der Teilsysteme und deren Ablösungszeitpunkte festgelegt.

Schliesslich sind zur Umsetzung eines Plattformkonzepts auch organisatorische Massnahmen notwendig. Ein Plattform-Umsetzungsteam mit Vertretern aus allen Unternehmensbereichen muss gebildet werden.

Aus der Praxis lassen sich viele Beispiele des erfolgreichen Managements von Plattformen anführen, sowohl bezüglich Innovationsraten, als auch bezüglich weitgehender Standardisierung von Baugruppen.

Sony brachte in den achtziger Jahren jedes Jahr rund zwanzig neue Modelle ihres Erfolgsprodukts Walkman auf den Markt: 250 Modelle innert zehn Jahren[3]. Black & Decker brachte es sogar auf ein neues Modell ihrer Elektrowerkzeuge pro Woche[4]. Diese Innovationsraten konnten nur durch geeignete Plattformkonzepte realisiert werden.

In der Flugzeugindustrie ist aufgrund der hohen Entwicklungskosten der Einsatz von Plattformen zur Mehrfachverwendung von Komponenten ein grundlegender Faktor. Boeing baut zum Beispiel auf seiner 777-Plattform fünf verschiedene Flugzeugmodelle auf:

---

[1] Vgl. Boothroyd et al. (1994), sowie Meyer / Lehnerd (1997), S. 97.

[2] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 88 ff. und S. 239-241.

[3] Vgl. Sanderson / Uzumeri (1995), S. 769 ff.

[4] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 13-15.

- Die 777-200A als Basisversion
- Die 777-200B mit erhöhter Reichweite
- Die 777-300A mit vergrösserter Kapazität
- Die 777-300B mit grosser Kapazität und grosser Reichweite
- Die verkleinerte 777-100 mit extrem grosser Reichweite.

Neben der modellübergreifenden Wiederverwendung eines grossen Anteils der Komponenten, enthalten auch die Komponentenvarianten einen hohen Gleichteileumfang. Die Türvarianten, die ungefähr 1400 Teile umfassen, bestehen zu 95% aus identischen Teilen[1].

Noch weitergehend ist das Plattformkonzept des Airbus-Konsortiums. Die A320-Familie der Kurzstreckenflugzeuge mit schmalem Rumpf weist dasselbe Cockpitkonzept auf, wie die Grossraumflugzeuge der Familien A330 und A340. Dies führt dazu, dass ein Pilot mit einer A320-Lizenz nach kurzer Einführung auch ein Flugzeug der A330-Familie fliegen darf und umgekehrt. Für die Fluggesellschaften bringt dies eine erhöhte Flexibilität bei der Personalplanung mit sich, sowie enorme Einsparungen durch überflüssig gewordene Umschulungskurse. Dieses Konzept ist einer der Hauptgründe, weshalb Airbus gegenüber Boeing in den letzten Jahren kontinuierlich Boden gut gemacht hat.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Plattformkonzept als Methodenbaustein bei jeder Produktstrukturierung und Produktentwicklung angewendet werden kann. Wie weitgehend ein Plattformkonzept umgesetzt werden soll, muss im Einzelfall untersucht werden.

3.2.4 Variant Mode and Effects Analysis (VMEA)

Die Methode von CAESAR zur Gestaltung von variantenreichen Serienprodukten zielt darauf ab, vom Kunden nicht wahrgenommene Varianz in Produkten zu eliminieren und dadurch Kostensenkungspotentiale zu erschliessen[2]. Insbesondere werden die Einflüsse der Varianz bereits konstruktionsbegleitend erfasst und kostenmässig

---

[1] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 244-247.

[2] Vgl. Caesar (1991), S. 3.

bewertet. Dies ermöglicht die Auswahl kostengünstiger Konstruktionsalternativen zur Erreichung der gewünschten Vielfalt.

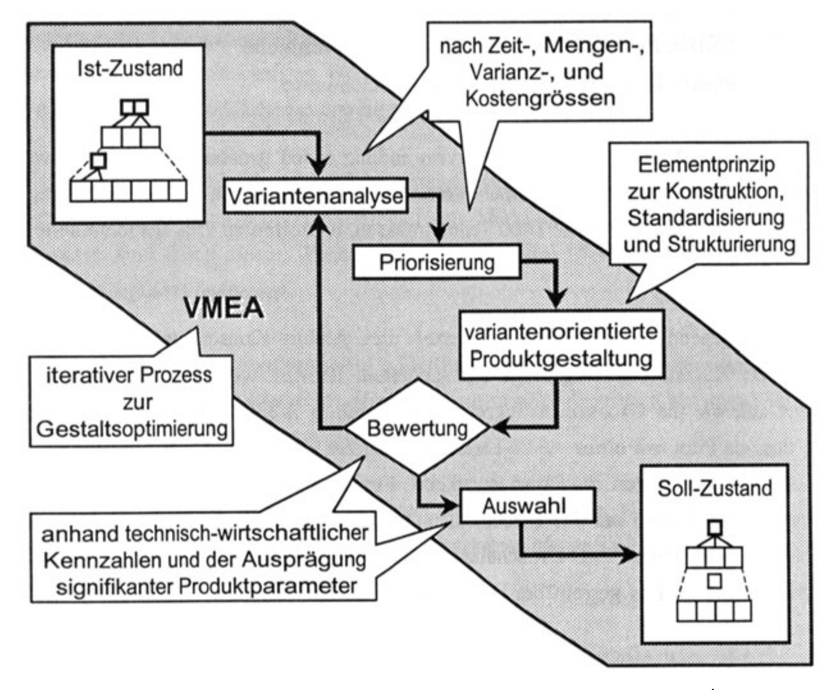


Abb. 3–9: Methodik der Variant Mode an Effects Analysis[1]

Ausgehend von der Analyse des Ist-Zustands mit der Variantenbaummethode[2] werden neue Konzepte entworfen und mit Hilfe von technisch-wirtschaftlichen Kennzahlen bewertet. Basierend auf der Bewertung werden die Konzepte überarbeitet und erneut bewertet. Am Ende der Iteration wird das geeignetste Konzept ausgewählt und umgesetzt.

Der Ansatz von CAESAR fokussiert auf die Problematik der Variantenvielfalt und deren kostenmässiger Bewertung. Marktseitige Überlegungen werden von der Betrachtung ausgeschlossen.

---

[1] Quelle: Caesar (1991), S. 36.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 46 ff.

3.2.5 Modular Function Deployment

Unter dem Titel Modular Function Deployment beschreibt ERIXON eine Methode zur systematischen Entwicklung von modularen Produktstrukturen[1]. Das Vorgehen zur Strukturierung wird in fünf Schritte gegliedert (Abb. 3–10).

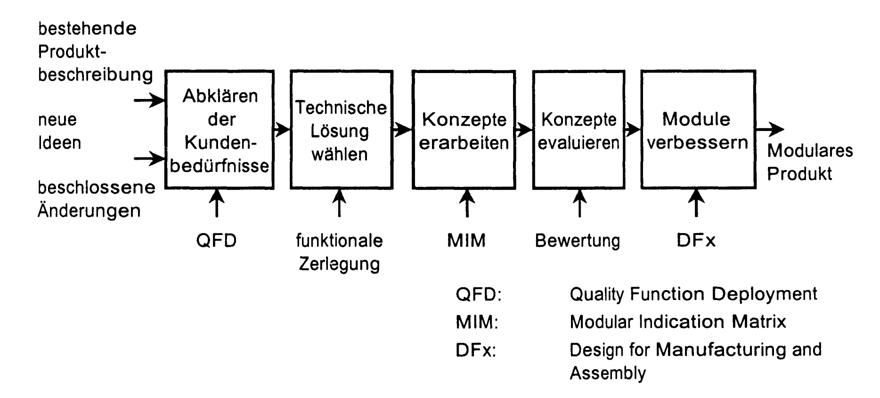


Abb. 3–10: Vorgehen beim Modular Function Deployment[2]

In einem ersten Schritt werden die Kundenbedürfnisse geklärt und in Anforderungen an das Produkt übersetzt. Hierzu wird die Methode des Quality Function Deployment angewendet.

Die so gewonnenen Informationen beschreiben das Produkt in der Sprache des Kunden. Für die Entwicklung des Produktes ist jedoch eine Sicht nötig, die sich mehr an der Technik orientiert. Deshalb werden die Kundenanforderungen in Funktionen und Unterfunktionen heruntergebrochen[3]. Alternative technische Lösungen für die Funktionsträger werden erarbeitet. Nach einer Bewertung wird das geeignetste Prinzip gewählt.

---

[1] Vgl. Erixon (1998), S. 65 ff.

[2] Quelle: Erixon (1998), S. 66.

[3] Dieses Vorgehen entspricht der Bildung von Basiselementen und deren funktionaler Beschreibung durch Produktmerkmale.

Im nächsten Schritt werden Konzepte zur Gliederung des Produktes in Module erarbeitet. Mit Hilfe der sogenannten Modular Indication Matrix werden die zuvor ermittelten Funktionselemente an Modularitätstreibern gespiegelt[1]. Weist ein Funktionselement viele und starke Beziehungen zu den Treibern für Modularität auf, so empfiehlt es sich, die Funktion in ein separates Modul zu verpacken. So entstehen verschiedene Konzepte, von denen die erfolgversprechendsten näher untersucht werden.

Im vierten Schritt werden die verbleibenden Konzepte anhand von verschiedenen Kennzahlen und Regeln bezüglich Entwicklungsaufwand, Montierbarkeit und Kundennutzen bewertet[2]. Basierend auf der Bewertung wird das umzusetzende Konzept ausgewählt.

Schliesslich werden die zuvor gebildeten Module technisch verfeinert. Hierbei werden Methoden wie Design for Assembly oder Design for Manufacturing angewendet.

Der Ansatz von ERIXON unterstützt die Entscheidungsfindung bei der Einteilung eines Produktes in Module. Für Fragestellungen, welche die Vielfalt sowohl der Module als auch der Schnittstellen betreffen werden keine Hilfestellungen angeboten.

3.2.6 Der Ansatz zur optimalen Vielfalt von RATHNOW

RATHNOW[3] schlägt in seiner Arbeit ein zweiteiliges Vorgehen zur Gesamtoptimierung der Variantenvielfalt vor. Im ersten Schritt wird die am Markt anzubietende Leistung optimiert. Das heisst, es wird bestimmt, welche Vielfalt einen maximalen Nutzenüberschuss generiert. Im zweiten Schritt werden Prozess- und Produktstruktur so festgelegt, dass die geforderte Vielfalt möglichst kostengünstig erreicht wird (Abb. 3–11).

---

[1] Vgl. Erixon (1998), S. 72-83.

[2] Vgl. Erixon (1998), S. 87-102.

[3] Vgl. Rathnow (1993), S. 41.

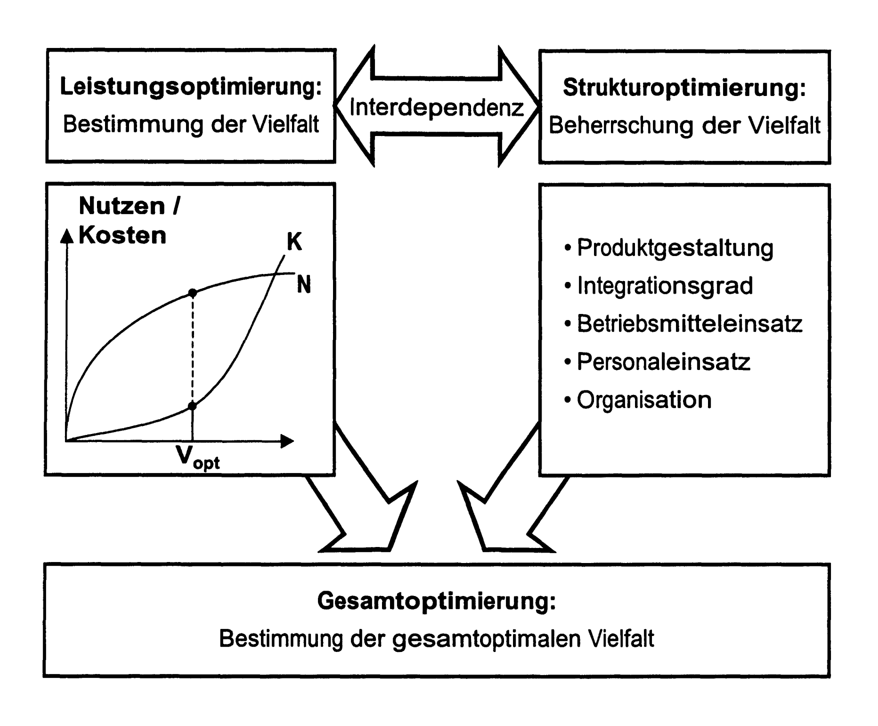


Abb. 3–11: Bestimmung der gesamtoptimalen Vielfalt[1]

Die Leistungsoptimierung ist eine zwingende Voraussetzung für eine Produktstrukturierung. Sie definiert die Leistungsbandbreite, welche durch das Produkt am Markt abgedeckt werden muss und hat dadurch einen grossen Einfluss auf die benötigte Produktstruktur.

Die Strukturoptimierung befasst sich sowohl mit organisatorischen Fragen, als auch mit der eigentlichen Strukturierung des Produktes. Der Ansatz zur Produktstrukturierung beruht auf der Erkenntnis, dass sich die Effizienz der Leistungserstellung immer weniger am rationellen Vollzug der eigentlichen Produktion, sondern zunehmend am rationellen Vollzug der Umrüstvorgänge (Wechsel) misst[2].

---

[1] Vgl. Rathnow (1993), S. 42.

[2] Vgl. Rathnow (1993), S. 108.

Das Problem der Umrüstvorgänge kann auf zwei Arten angegangen werden: Durch die Vermeidung von Umrüstungen oder durch die Bewältigung von Umrüstungen. Durch eine geeignete Produktstruktur[1] kann insbesondere ein Beitrag zur Vermeidung von Wechseln geleistet werden. Es werden verschiedene Produktstrukturierungsmassnahmen wie Typung, Modularisierung, Teilefamilienbildung und Wiederholteileverwendung vorgeschlagen, die sowohl auf das Produkt, als auch analog auf sämtliche Organisationsbereiche angewendet werden sollen. Zur Bewältigung von Wechseln kann zum Beispiel der variationsgerechte Einsatz von Werkstoffen beitragen[2]. Die beiden Schritte sind nicht isoliert zu optimieren, sondern bilden gemeinsam die Grundlage für eine Gesamtoptimierung[3] der Vielfalt. Allerdings postuliert RATHNOW das Primat der Vermeidung vor der Bewältigung[4]. Dies bedeutet, dass zunächst die Leistungserstellung weitestgehend vereinfacht werden soll, bevor über eine Flexibilisierung oder Automatisierung nachgedacht wird[5].

Der sehr interessante Ansatz von RATHNOW kann als Vorgehensweise verstanden werden, die zu einer optimalen Produktstruktur führen soll. Die aufgeführten Produktstrukturierungsmassnahmen werden als Handlungsanweisungen in allgemeiner Form erwähnt. Es ist damit für die Praxis noch nicht ausreichend geklärt, welche Massnahmen in welchen Anwendungsfällen besonders wirksam sind. Die anzuwendenden Massnahmen und Methoden müssen im Einzelfall genauer bestimmt werden.

3.2.7 Variety Reduction Program

Unter dem Titel Variety Reduction Program stellen SUZUE / KOHDATE eine Methodik zur Reduktion der Komplexitätskosten vor. Sie teilen hierfür die Kosten in die

---

[1] Vgl. Rathnow (1993), S. 109. Rathnow nennt die Produktstrukturierung "Produktgestaltung im engeren Sinn". Die Produktgestaltung im engeren Sinn beschäftigt sich damit, wie ein vorgegebenes Leistungsangebot optimal realisiert werden kann.

[2] Vgl. Rathnow (1993), S. 112. Als Beispiel wird die SWATCH-Uhr genannt, deren Individualisierung teilweise durch verschiedenfarbige Kunststoffe erfolgt. Dies bringt gegenüber den üblicherweise verwendeten Metallgehäusen eine drastische Kostenreduktion.

[3] Vgl. Rathnow (1993), S. 167 ff.

[4] Die Veränderung des Potentials zur Kostenreduzierung bei Vermeidung und Abbau von Varianten wurde bereits früher durch Schuh / Caesar (1989), S. 209, aufgezeigt.

[5] Vgl. Rathnow (1993), S. 165.

Kategorien funktionale Kosten, Steuerungskosten und Vielfaltskosten[1]. Funktionale Kosten fallen für die Beschaffung und Verarbeitung der Teile an, die benötigt werden, um eine geforderte Produktspezifikation zu erfüllen. Sie werden durch Funktionen und Strukturen getrieben. Vielfaltskosten entstehen durch Teile- und Prozessvarianten, die zu kleinen Losgrössen und Umrüstvorgängen führen oder teurere Ausrüstungen erfordern. Steuerungskosten werden durch Aktivitäten zur Planung und Überwachung von Teilen und Prozessen verursacht. Kostentreiber sind die Teilevielfalt, die Prozessvielfalt, sowie die Anzahl der Kontrollpunkte[2].

Zur Beurteilung der Kostentreiber der einzelnen Kostenarten werden ein Teileindex, ein Prozessindex und die Anzahl der Kontrollpunkte eingesetzt[3]. Die Veränderung dieser Grössen wird zur Schätzung der Kostenveränderung eingesetzt.

Mit fünf Techniken werden Produkte und Prozesse beeinflusst, um die Kosten zu reduzieren. Die erste Technik, *fix versus variabel* genannt, besteht darin, in einer Produktfamilie gemeinsame (fixe) Teile zu suchen und diese gegenüber den variablen Teilen abzugrenzen. Durch die Verringerung des Integrationsgrades der einzelnen Baugruppen wird mit der *Kombinations*-Technik die benötigte Variantenvielfalt mit einer geringen Teilevielfalt erreicht. Die Technik *Multifunktionalität und Integration* verfolgt das Ziel, die Anzahl der Teile, aus denen ein Produkt besteht, zu reduzieren, indem verschiedene Funktionen auf ein Bauteil vereint werden[4]. Die *Bereich*-Technik besteht darin, dass Produktmerkmale mit kontinuierlichem Verlauf in geeignete Bereiche aufgeteilt werden. Bei der Anwendung der *Trend*-Technik werden die Produktmerkmale bezüglich Gesetzmässigkeiten der Ausprägungen untersucht. Dadurch sollen unnötige Ausprägungen erkannt und eliminiert werden[5].

SUZUE / KOHDATE konzentrieren sich in ihrer Arbeit hauptsächlich auf Aspekte der Vielfalt und die Reduktion der daraus resultierenden Komplexität. Zusammenhänge zwischen Marktanforderungen und der Vielfalt der Produkte bleiben weitgehend unberücksichtigt.

---

[1] Vgl. Suzue / Kohdate (1990), S. 28 ff.

[2] Vgl. Suzue / Kohdate (1990), S. 30-37.

[3] Vgl. Suzue / Kohdate (1990), S. 39-44.

[4] Diese Technik entspricht der Bildung von Integralbauteilen, wie sie in Kapitel 3.1.4 beschrieben wurde.

[5] Vgl. Suzue / Kohdate (1990), S. 57-70.

3.2.8 Montageorientierte Strukturierung nach UNGEHEUER

UNGEHEUER zeigt die Bedeutung einer montageorientierten Erzeugnisgliederung für das Unternehmen auf. Die Abbildung der Produktstruktur nach Montagegesichtspunkten wird schrittweise aus einer funktionalen Abbildung hergeleitet[1].

In einem ersten Schritt wird der am Markt anzubietende Leistungsumfang ermittelt. Dies geschieht durch Analyse von Anfragen und Aufträgen, sowie durch Befragung der Unternehmensbereiche unter Berücksichtigung der Unternehmensziele.

Dann wird eine funktionsorientierte Abbildung der Produktstruktur durch Analyse der Stücklisten oder durch eine Funktionsanalyse erarbeitet.

Schliesslich folgt die Umsetzung der funktionalen Struktur in eine montagegerechte Struktur. Ziel ist die Bildung von vormontierbaren, funktionsprüfbaren und komplett austauschbaren Baugruppen und deren Ordnung in einen Montageprozess. Es werden mehrere Verfahren zur Abgrenzung der Baugruppen und zur Ermittlung der optimalen Montagereihenfolge aufgeführt.

Die von UNGEHEUER entwickelte montageorientierte Strukturierungsmethode ist für Anwendungsfälle geeignet, bei denen die Montage im Vordergrund steht. Offen ist die Frage, in welchen Anwendungsfällen und für welche Produktkategorien die montageorientierte Strukturierung gegenüber anderen Strukturierungsarten Vorteile bringt.

3.2.9 Der Baureihenansatz von KÜHBORTH

KÜHBORTH basiert mit seinem Produktstrukturierungsansatz auf der Annahme, dass eine optimale Produktstruktur eine Mischform aus Baureihe und Baukasten ist[2]. Die Bildung einer optimalen Baureihe erfolgt in zwei Schritten: der äusseren und der inneren Optimierung. Äussere Optimierung bedeutet dabei, dass das abzudeckende Spektrum nach wirtschaftlichen Kriterien in Stufensprünge der Haupteigenschaft

---

[1] Vgl. Ungeheuer (1985), S. 58-87.

[2] Vgl. Kühborth (1986), S. 16.

unterteilt wird[1]. Ziel ist es dabei, die am Markt geforderten Bedürfnisse möglichst gut zu treffen. Die innere Optimierung befasst sich damit, wie die zuvor festgelegte Baureihe möglichst kostengünstig realisiert werden kann. Dies wird dadurch erreicht, dass innerhalb der Baureihe das Baukastenprinzip in mehr oder weniger hohem Grad angewendet wird.

Der Hauptmangel dieser Methode liegt in der Eindimensionalität: Die Baureihe wird immer nur nach einem Parameter erstellt, einer Hauptfunktion des Produktes. Entsprechend werden alle von diesem Merkmal beeinflussten Bauteile Primärteile genannt. Alle anderen Bauteile, die Sekundärteile, werden als in der ganzen Baureihe immer gleiche Standardteile angenommen[2]. Die Varianz eines Produktes beruht aber in den seltensten Fällen auf nur einem Merkmal, so dass eine Strukturierung nach nur einem Kriterium bei komplexeren Produkten nicht zum gewünschten Erfolg führt. Es ist im weiteren anzunehmen, dass der Aufwand zur Durchführung einer derartigen Untersuchung relativ hoch ist.

3.2.10 Der Baukastenansatz von WÜPPING

Eine Methode zur Strukturierung von Produkten am Beispiel von Verpackungsmaschinen schlägt WÜPPING vor. Ausgehend von einer Beschreibung der Funktionsstruktur werden Hauptfunktionsgruppen gebildet. Diese werden weiter gegliedert in Bausteine, deren Grenzen unter Berücksichtigung der Variantenbildung, der Austauschbarkeit, sowie der Vormontier- und Vorprüfbarkeit festgelegt werden. Zum Schluss wird geprüft, ob die Produktstruktur brauchbar ist. Falls dem nicht so ist, wird eine neue Gliederung in Hauptfunktionsgruppen vorgenommen und der ganze Strukturierungsprozess solange durchlaufen, bis das Resultat befriedigend ist[3].

---

[1] Beispiel: Für eine Motorenreihe wird als Parameter, nach dem die Baureihe gebildet werden soll, die Leistung festgelegt. Am Markt sollen Leistungen von 50kW bis 150kW angeboten werden. Die äussere Optimierung beschäftigt sich damit, welche Typen angeboten werden sollen. So könnte zum Beispiel die Leistung in 10kW-Stufensprüngen oder auch in 50kW-Stufensprüngen eingeteilt werden.

[2] Vgl. Kühborth (1986), S. 16-17. Kühborth nennt die Produktstruktur von Produkten, die sich nach mehreren Merkmalen in Baureihen einteilen lassen würden, "Baumatrizen". Eine nähere Betrachtung dieser Produkte erfolgt im Rahmen seiner Arbeit nicht.

[3] Vgl. Wüpping (1993), S. 54. Der Prozess wird an einem Beispiel durchlaufen (S. 53-94).

Das Hauptproblem beim Vorgehen nach WÜPPING ist die mangelnde Steuerbarkeit des Erfolges durch die Massnahmen. Dieser lässt sich erst nach Abschluss des Strukturierungsprozesses messen. Die Kosten der Strukturierung sind deshalb zum voraus schlecht abschätzbar, weil sie stark von der Anzahl Prozessdurchläufen abhängen.

3.2.11 Erzeugnisgliederung nach SCHALLER

Das Modell zur Erzeugnisgliederung von SCHALLER soll einen Beitrag liefern zur wirtschaftlichen Herstellung von Variantenerzeugnissen mit mittlerer bis hoher Komplexität in der Serienfertigung[1]. Die Erzeugnisgliederung muss nach dieser Betrachtungsweise ein strategischer Entscheid sein, der sich aus der Strategie für den Produktemix ableitet. Die Erzeugnisgliederung soll eine möglichst hohe Wiederholhäufigkeit von Leistungen ermöglichen und damit Kostenvorteile erschliessen[2]. Zu diesem Zweck werden drei grundsätzliche Produktstrukturmodelle vorgeschlagen (Abb. 3–12).

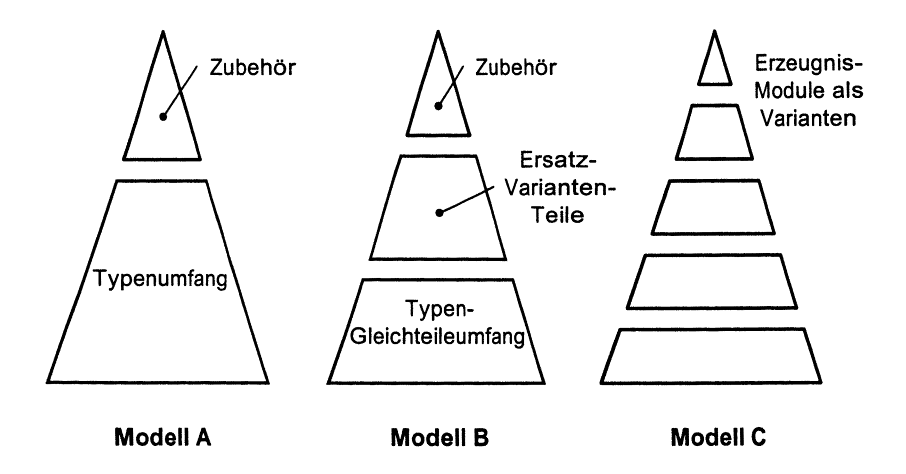


Abb. 3–12: Erzeugnisgliederungs-Modelle nach SCHALLER[3]

[1] Vgl. Schaller (1980), S. 2.

[2] Vgl. Schaller (1980), S. 88.

[3] Quelle: leicht modifiziert nach Schaller (1980), S. 94.

Das Produktstrukturmodell A ist gekennzeichnet durch eine relativ geringe Variantenvielfalt. Das Produkt ist gegliedert in einen Standardlieferumfang (Typenumfang), der bereits voll funktionsfähig ist. Durch Zubehör kann das Produkt noch ergänzt werden, wodurch die Varianz erst entsteht. Erzeugnisse nach dem Modell A sind auf Serien und Grosserien ausgerichtet. Die Leistungswiederholung wird hauptsächlich durch die Auftragswiederholung erreicht[1]. Modell A stellt aus Produktionssicht die optimale Struktur dar.

Das Modell B zeigt Erzeugnisse, die zur Funktionstüchtigkeit sowohl den Typengleichteileumfang, als auch einen Anteil von Ersatzvariantenteilen benötigen. Im Gegensatz zu den Typengleichteilen muss der Kunde bei den Ersatzvariantenteilen aus verschiedenen Varianten die passende auswählen. Durch Zubehör kann das bereits vorher funktionsfähige Produkt nach Wunsch noch ergänzt werden. Die Leistungswiederholung wird durch den Gleichteileumfang sichergestellt. Modell B ist zu fordern, wenn Modell A nicht durchführbar ist[2].

Im Modell C besteht das Erzeugnis nur noch aus Ersatzvariantenteilen und Zubehör. Die Erzeugnispyramide wird aufgebaut, indem von jedem Bestandteil die gewünschte Variante gewählt wird. Das Produkt hat keine Teile, die in jeder Endvariante vorkommen, also keinen Gleichteileumfang. Modell C ermöglicht eine flexible Erfüllung von Kundenwünschen, birgt aber andererseits das Risiko, dass das Sortiment unkontrolliert wächst, die Losgrössen sinken und die Wiederholhäufigkeit von Prozessen abnimmt. Zudem sind die Steuerung und Bewirtschaftung bei diesem Strukturtyp sehr anspruchsvoll und komplex. Die Leistungswiederholung erfolgt nach Möglichkeit auf Teileebene und hängt stark von den Fähigkeiten des Konstrukteurs ab[3].

Die Modelle von SCHALLER widerspiegeln den latenten Interessenkonflikt zwischen Vertrieb und Produktion. Aus Produktionssicht wird klar Modell A favorisiert, gefolgt von Modell B und schliesslich Modell C. Für den Vertrieb bietet jedoch Modell C die grössten Möglichkeiten, um Kundenwünsche zu erfüllen, gefolgt von Modell B und A. Offensichtlich verfolgen die einzelnen Bereiche widersprüchliche Interessen. Um eine gesamtoptimale Struktur zu finden, wären weiterführende Betrachtungen nötig. Die

---

[1] Vgl. Schaller (1980), S. 90-91.

[2] Vgl. Schaller (1980), S. 91.

[3] Vgl. Schaller (1980), S. 91-92.

Modelltypen bieten in diesem Sinne keine hinreichende Hilfestellung, um die in einem spezifischen Anwendungsfall optimale Erzeugnisgliederung zu finden.

3.2.12 Weitere Ansätze

Das *Design for Variety*-Konzept bietet einerseits eine Hilfestellung zur Bestimmung von Variantenkosten in einem Unternehmen, andererseits können qualitative Handlungsanweisungen zur Erreichung minimaler Varianz in der Konstruktion abgeleitet werden. Das Konzept basiert auf drei Indizes zur Charakterisierung der Produkt- und der Produktionsstruktur. Der *Gemeinsamkeitsindex* gibt Auskunft darüber, inwieweit in einem Produkt Standardteile eingesetzt werden. Der *Differenzierungsindex* ist ein Mass dafür, wann im Produktionsprozess die Produktevielfalt entsteht. Der *Setup-Index* ist indirektes Mass dafür, wie stark die Umrüstkosten im Verhältnis zu den Gesamtkosten des Produktes ins Gewicht fallen[1]. Als qualitatives Hilfsmittel wurde ein Algorithmus entwickelt, der ausgehend von einem Prozessequenzgraph die variantentreibenden Komponenten im Montageprozess möglichst weit nach hinten verschiebt. Als Optimierungskriterium dient die Anzahl der Knoten im Graph, die durch ein iteratives Vorgehen minimiert wird. Der Ansatz bezieht sich primär auf Montageaspekte und ist rein technisch getrieben.

Individualisierung und Standardisierung werden in der Arbeit von MAYER als Extremformen der Strategie zur Produktgestaltung dargestellt[2]. Als Massnahmen zur Überwindung des Spannungsfeldes dieser zwei Extremstrategien werden eine Erhöhung der Flexibilität durch Modularisierung und durch den Einsatz von CIM-Bausteinen vorgeschlagen. Eine weitere Möglichkeit zur Überbrückung der Kluft zwischen Standardisierung und Individualisierung wird im Einsatz von Sekundärdienstleistungen gesehen[3]. Der Ansatz konzentriert sich hauptsächlich auf Aspekte der Produktstrategie. Die Produktstruktur wird als Mittel zum Zweck gesehen und nicht näher behandelt.

---

[1] Vgl. Martin / Ishii (1997), S. 3.

[2] Vgl. Mayer (1993), S. 50.

[3] Vgl. Mayer (1993), S. 152 ff.

4 Produktstrukturmanagement

Wie im vorangehenden Kapitel festgestellt wurde, besteht bereits eine Anzahl Ansätze zur Produktstrukturierung. In diesem Kapitel sollen bestehende und neue Methodenbausteine zusammengetragen werden, die zu einem umfassenden Produktstrukturmanagement integriert werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Schaffung eines Methodeninstrumentariums für den operativen Einsatz. Abb. 4–1 zeigt eine Übersicht über die Bausteine eines Produktstrukturmanagements.

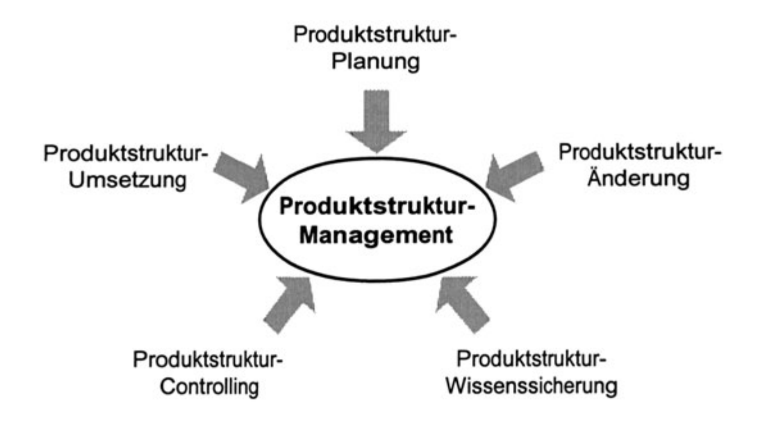


Abb. 4–1: Bausteine eines Produktstrukturmanagements

4.1 Vorbereitung der Produktstrukturierung

In den bisherigen Abschnitten wurde die Produktstruktur als isoliertes System mit weitgehender Entscheidungsfreiheit betrachtet. In Realität ist die Produktstruktur jedoch durch eine Vielzahl von gegenseitigen Abhängigkeiten in den Unternehmenszusammenhang eingebettet. In Abb. 4–2 sind solche Abhängigkeiten dargestellt.

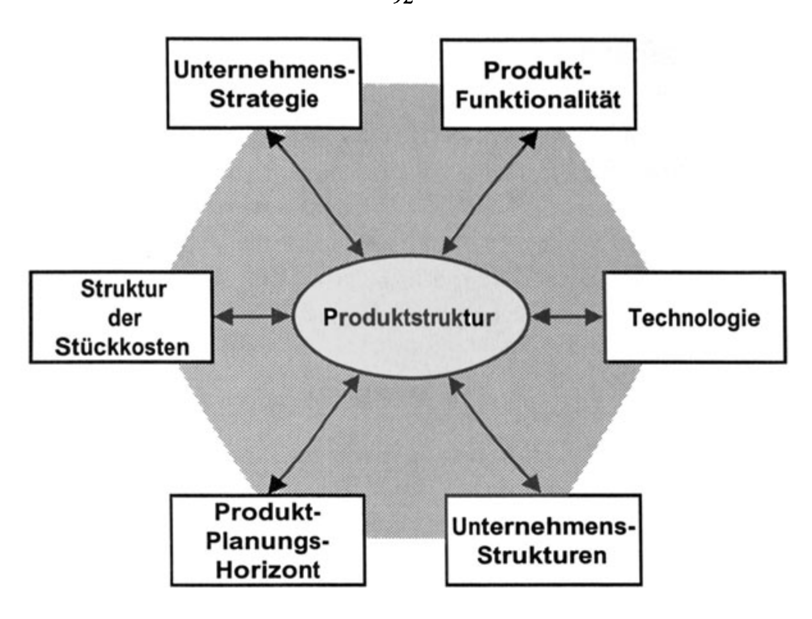


Abb. 4–2: Die Produktstruktur als Teil des Gesamtunternehmens

4.1.1 Unternehmensspezifische Rahmenbedingungen

Bei der Produktstrukturierung müssen die Rahmenbedingungen des Unternehmens und der Branche berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um übergeordnete Vorgaben, die nicht ohne weiteres, oder nur langfristig beeinflusst werden können. Diese Vorgaben bilden den Ausgangspunkt jeder Produktstrukturierung.

4.1.1.1 Normative Aspekte der Produktstruktur

Die Produktstruktur kann unter Umständen eine Bedeutung auf normativer Ebene erlangen. Als Beispiel hierfür kann die Computerindustrie angeführt werden[1]. Die Umsetzung von modularen Computersystemen mit einer Von-Neumann-Architektur führte Ende der sechziger Jahre dazu, dass vermehrt Anbieter von einzelnen Komponenten am Markt erfolgreich waren. Die Systemanbieter wie IBM verloren wertmässig zu-

---

[1] Vgl. Langlois / Robertson (1992), S. 311-312.

nehmend Marktanteile an die spezialisierten Komponentenhersteller[1]. Der Wettbewerb spielte sich zunehmend nicht mehr auf Stufe der Endprodukte, sondern auf Stufe der Module ab. Die Definition einer modularen Produktstruktur führte in diesem Fall zur Veränderung einer ganzen Industrie[2].

Ähnliches lässt sich auch bei Anlagenbauern feststellen. Die Fertigungstiefe wurde in den letzten Jahren reduziert, und die Systemanbieter veränderten sich in Richtung Systemintegratoren mit einer Anzahl Zulieferern von Subsystemen. Diese Entwicklung war nur möglich, weil die Produkte zunehmend modulare Strukturen aufwiesen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich in gewissen Branchen dominante Produktstrukturen etabliert haben, die besonders geeignet sind, um überdurchschnittliche Erfolge zu erzielen. Vor der Strukturierung eines Produktes müssen solche Faktoren gebührend berücksichtigt werden. Werden diese normativen Aspekte vernachlässigt, so können auch sehr gute Produktideen und -konzepte zu Misserfolgen führen. Unter diesem Blickwinkel ist es nicht erstaunlich, dass sich ein an sich überlegenes Produkt wie der Apple Macintosh nicht gegen die Konkurrenz der IBM-kompatiblen Rechner durchsetzen konnte.

4.1.1.2 Unternehmensstrategie

Die Unternehmensstrategie wirkt sich durch verschiedene Mechanismen auf die Produktstruktur aus. Einerseits hat die Strategie einen direkten Einfluss durch die Wahl einer der Grundstrategien Differenzierung oder Kostenführerschaft[3].

Die Umsetzung einer Differenzierungsstrategie kann durch die Produktstruktur auf verschiedene Weise unterstützt werden. Zum einen können Voraussetzungen geschaffen werden, um zusätzlichen Kundennutzen zu erzeugen. Beispielsweise kann die Anzahl freier Steckplätze für Karten in einem Personal Computer dem Kunden die nachträgliche Aufrüstung seines Rechners ermöglichen. Auch die erhöhte Verfügbarkeit eines Produktes durch einfache Austauschbarkeit von einzelnen Baugruppen stellt einen Zusatznutzen dar, der durch die Produktstruktur geschaffen wird.

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 10–7.

[2] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 1–7, sowie 10–1 ff.

[3] Vgl. Porter (1997), S. 62 ff.

Die Kostenführerschaft setzt eine sorgfältige Abstimmung der Produktstruktur auf die Rahmenbedingungen voraus. Eine schlecht angepasste Produktstruktur kann leicht zu einer inakzeptablen Kostenposition führen.

In der heutigen Zeit der rasanten technischen Entwicklung werden vermehrt auch Kombinationen der Grundstrategien eingesetzt (Abb. 4–3). Die Grundidee dieser Überholstrategien ist, das derjenige Anbieter einen Wettbewerbsvorteil erreicht, der als erster die obere rechte Ecke in der Grafik erreicht. Dies kann sowohl der innovative Erstanbieter, als auch der Nachfolger sein. Die Umsetzung einer Überholstrategie erfordert eine wohldosierte Flexibilität in Sachen Strategie[1].

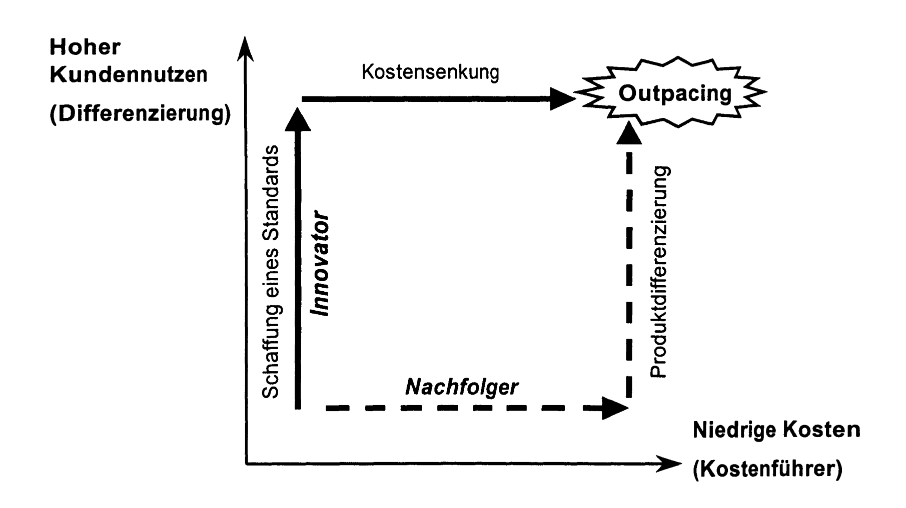


Abb. 4–3: Überholstrategien[2]

Eine durchdachte Produktstruktur ermöglicht die Verfolgung von Outpacing-Strategien, indem gleichzeitig Kostenführerschaft und Differenzierung erreicht werden können. Ein führender Hersteller von Geräten für die digitale Telekommunikation hat es beispielsweise geschafft, durch geschickte Strukturierung seiner Produkte mehrere Vorteile auf einmal zu erreichen: Der Markt für Geräte des absoluten Standards kann ohne negative Kostenfolgen mit demselben Produkt versorgt werden, das auch als

[1] Vgl. Gilbert / Strebel (1986), S. 61 ff.

[2] Quelle: Gilbert / Strebel (1986), S. 64, leicht geändert.

Basis für den Kunden mit Sonderwünschen dient. Sämtliche Zusatzfunktionen können durch Bestückungsvarianten und Ergänzungsmodule realisiert werden, ohne dass die Grundausführung dadurch kostspieliger wird. Durch diese weitgehende Standardisierung kann das Unternehmen auch differenzierte Produkte mit kleineren Stückzahlen zu günstigen Kosten herstellen.

Die Unternehmensstrategie wird über verschiedene Stufen in eine Produktstrategie heruntergebrochen. Die Teilstrategien beziehen sich auf Produktplattformen, Produktlinien, und schliesslich einzelne Produkte (Abb. 4–4).

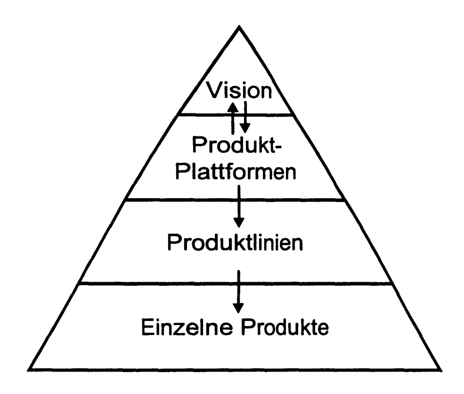


Abb. 4–4: Die vier Stufen der Produktstrategie[1]

ZICH stellt in seiner Arbeit die Verbindung von der Unternehmensstrategie zur operativen Produktgestaltung her[2]. Diesem Ansatz liegt die Einsicht zugrunde, dass die Vielfalt niemals Selbstzweck ist, sondern die Reaktion des Unternehmens auf die marktseitigen Anforderungen. Eine Vielfaltsstrategie leitet sich demnach aus der Unternehmensstrategie ab und kann nicht für sich alleine betrachtet werden. Hierfür wird das Konzept der strategischen Filter eingeführt. Es werden drei Erscheinungsformen der Filterung von Kundenanforderungen unterschieden. Bei der *Nivellierung* der Anforderungen werden nur wenige Funktionsausprägungen zugelassen, während bei der *Stufung* bereits eine etwas höhere, aber immer noch begrenzte Varianz an Kundenanforderungen erlaubt ist. Im Falle der *Öffnung* werden schliesslich sämtliche

[1] Quelle: McGrath (1995), S. 14.

[2] Vgl. Zich (1996), S. 48-56, sowie S. 148-154.

Kundenanforderungen zugelassen. Basierend auf diesen Ausprägungen und den Möglichkeiten, die der Markt bietet, wird gezeigt, welcher strategische Filter auf den verschiedenen Gestaltungsebenen angewendet werden soll. Ein erfolgreiches Unternehmen ist dadurch gekennzeichnet, dass es eine Übereinstimmung von Umwelt, Strategie und interner Konfiguration erreicht hat[1].

Neben dieser unterstützenden Funktion der Produktstruktur bei der Umsetzung der Strategie, sind weitere Verflechtungen von Strategie und Produktstruktur feststellbar. Ein Unternehmen wird entsprechend der verfolgten Strategie die Organisationsstrukturen anpassen. Dies beeinflusst die organisatorischen Abläufe und die Prozesse. Die Produktstruktur und die Prozesse müssen aufeinander abgestimmt werden, um eine möglichst effektive Nutzung der Ressourcen zu gewährleisten.

4.1.1.3 Unternehmensstrukturen und Kompetenzen

Die Produktstruktur darf nicht isoliert von den bestehenden Strukturen eines Unternehmens betrachtet werden. Vielmehr muss die Produktstruktur den Möglichkeiten der Unternehmung entsprechen. In den meisten Fällen wird deshalb die Produktstruktur an die Unternehmensstrukturen angepasst. Eine Anpassung der Strukturen des Unternehmens auf die gewünschte Produktstruktur ist nur mittel- bis langfristig möglich, sollte aber im Sinne einer Langfristplanung angestrebt werden.

Ein Unternehmen, welches über einen hochflexiblen Maschinenpark verfügt, kann ein Massenprodukt mit grösster Wahrscheinlichkeit nicht zu denselben tiefen Kosten produzieren wie ein Hersteller, dessen Produktion zwar inflexibel, aber genau auf dieses Massenprodukt abgestimmt ist. Umgekehrt kann der Hersteller eines Massenproduktes mit seiner Infrastruktur nicht plötzlich Produkte herstellen, die eine grosse Variantenvielfalt aufweisen, ohne kostenmässig ins Abseits zu laufen.

SCHUH et al. unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen Variantenoptimierern und Variantenkonfigurierern[2]. Der Variantenoptimierer plant die Variantenvielfalt seiner Produkte voraus und stimmt die Produktionsstruktur auf allen Fertigungsstufen

---

[1] Vgl. Zich (1996), S. 153.

[2] Vgl. Schuh et al. (1998), S. 81 ff.

auf die Produktstruktur ab. Dies führt zu einer wohldefinierten Variantenvielfalt, die kostengünstig hergestellt werden kann, von der aber nur mit hohem Aufwand abgewichen werden kann. Dagegen bewegt sich der Variantenkonfigurierer in einem Markt, in dem die Endproduktvariantenzahl nicht planbar ist, weil kundenspezifische Lösungen gefordert sind. Die wesentlichen Wettbewerbsfaktoren sind hier die Fähigkeit zu einer individuellen Konfiguration des Produktes bei gleichzeitiger Nutzung von Skaleneffekten durch den Einsatz von Wiederholteilen.

Als Beispiel für die Abstimmung von Produkt- und Produktionsstruktur kann die Schrank GmbH, ein deutscher Hersteller von Betriebs- und Lagereinrichtungen, dienen. Die Schrank GmbH hat sich darauf spezialisiert, aus Stahlblech hochwertige Produkte für industrielle und gewerbliche Kunden zu produzieren. Zum Sortiment zählen, neben Regalen und Werkbänken, auch eine ganze Reihe von Schrankfamilien, die aus Stahlblech gefertigt werden. Der Herstellungsprozess ist in Abb. 4–5 dargestellt.

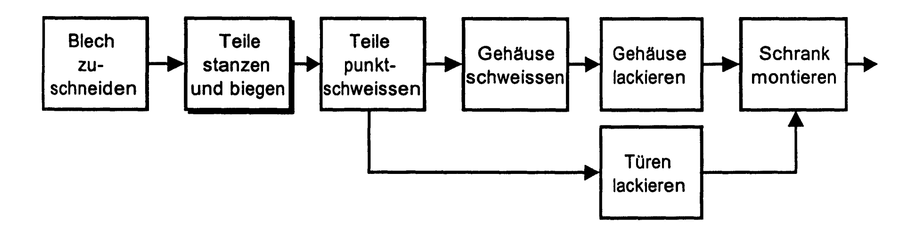


Abb. 4–5: Herstellprozess von Schränken aus Stahlblech bei der Schrank GmbH

Zur Herstellung der Schränke werden zuerst Blechtafeln auf die benötigten Grössen zugeschnitten. In einem nächsten Schritt werden Sockel, Deckel, Seiten- und Rückwände, sowie Türen auf einer CNC-Stanz- und Biegemaschine mit den benötigten Stanzmustern und Abkantungen versehen. Anschliessend werden Teile wie Scharniere und Verstrebungen mit den Komponenten verschweisst, bevor das Gehäuse punktgeschweisst und hartgelötet wird. Nach der Lackierung wird der Schrank montiert und mit Fachböden ausgerüstet.

Die Schränke unterscheiden sich, ausser durch verschiedene Abmessungen, auch durch ihre Tragfähigkeit. Die Tragfähigkeit wurde ursprünglich durch verschiedene Blechstärken der Seitenwände realisiert. Die CNC-Stanz- und Biegemaschine (in Abb. 4–5 grau schattiert) kann zwar verschiedene Blechformate ohne Umrüstung bearbeiten, bei

unterschiedlichen Blechstärken muss die Maschine jedoch neu eingerichtet werden, was jeweils mit mindestens einem Ausschussteil verbunden ist. Die Produktstruktur wurde nun dahingehend geändert, dass sämtliche Schränke in derselben Blechstärke hergestellt werden. Die zusätzlich benötigte Festigkeit wird durch Einpunkten von Verstrebungen erreicht. Dadurch werden kostspielige Umrüstvorgänge eingespart, während die zusätzlichen Verstrebungen ohne zusätzlichen Personalaufwand vom Maschinenführer montiert werden. Die Materialkosten für die Verstrebungen, welche identisch zu den ohnehin zur Befestigung von Fachböden benötigten Stelleisten sind, werden durch geringere Materialkosten des dünneren Bleches der Seitenwände ungefähr ausgeglichen. Neben Kosteneinsparungen durch weniger Umrüstungen und eine geringere Teilevielfalt, wurde durch die Produktstrukturänderung erreicht, dass der Entscheid über die Tragfähigkeit des Schrankes erst in einer späteren Produktionsphase getroffen werden muss. Dadurch wurden bei gleichbleibendem Zwischenlagervolumen die Lieferzeiten verkürzt.

Die Zusammenhänge zwischen Produktstruktur und Produktionsstruktur, sowie deren Auswirkungen auf die Kosten sind in der Literatur bereits breit diskutiert worden. Bei der Variantenbaummethode wird beispielsweise die Produktstruktur unter Zuhilfenahme der Montagereihenfolge grafisch dargestellt[1]. Basierend auf dieser Darstellung wurden auch Kennzahlen entwickelt, die eine Bewertung der Produktionsstruktur ermöglichen. Dabei werden die Einflüsse von Produktstrukturgrössen auf die Anzahl der Umrüstvorgänge aufgezeigt[2]. Je nachdem, wie und auf welcher Montagestufe die Varianz eines Produktes entsteht, sind die Auswirkungen auf die Anzahl der Wechsel mehr oder weniger schwerwiegend. Durch Änderungen der Produktstruktur kann die Anzahl der Wechsel in der Produktion günstig beeinflusst werden.

Mögliche Produktstrukturierungsmassnahmen sind die Bildung von Integral- und Differentialteilen, das Eliminieren von Form- und Farbvarianz, die Reduktion von Kannteilen zu Gunsten von Standard- oder Mussteilen, sowie die Substitution von Einzelteilen oder Baugruppen. Als Möglichkeit zur Verbesserung der Produktionsstruktur bei unveränderter Produktstruktur wird die Änderung der Montagereihenfolge vorgeschlagen[3].

---

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 47.

[2] Vgl. Caesar (1991), S. 77 ff., sowie S. 164-174.

[3] Vgl. Caesar (1991), S. 68.

Als Schwachpunkt der Methode von Caesar muss bemerkt werden, dass die Produktionsstruktur durch die Montagereihenfolge der Elemente dargestellt wird. Damit wird unterstellt, dass eine andere Variante eines Elementes automatisch auch zu einer anderen Variante des Produktionsprozesses führt. Zwar wird der logistische Aufwand mit jeder Elementvariante grösser, ein Umrüstvorgang muss aber nicht zwingend die Folge sein. Eine Elementvariante ist deshalb immer eine Variante im Sinne der Logistik, nicht aber im Sinne des Produktionsprozesses. Die Produktionsstruktur müsste also durch Prozessvarianten abgebildet werden, denen die Elementvarianten zugeordnet werden. Der Kostentreiber für Logistikkosten ist die Anzahl der Elementvarianten, der Kostentreiber für die Umrüstvorgänge die Anzahl der Prozessvarianten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass üblicherweise die Unternehmensstrukturen bei der Produktstrukturierung berücksichtigt werden müssen. Dieses Vorgehen ermöglicht schrittweise Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit. Um jedoch nicht nur evolutionäre, sondern revolutionäre Verbesserungen erreichen zu können, muss basierend auf der marktgerechten Produktstruktur die Produktionsstruktur strategisch geplant werden.

4.1.2 Grundlegende Entscheidungen

Vor der operativen Durchführung einer Produktstrukturierung sind verschiedene grundsätzliche Entscheide von strategischer Bedeutung zu fällen. Dazu gehören insbesondere Technologieentscheide, die Planung des Lebenszyklus der Produktstruktur, sowie die Bestimmung des Zusatznutzens, welcher durch die Produktstrukturierung erreicht werden soll.

4.1.2.1 Bestimmen von Zielsegmenten und Positionierung

Bevor ein Produkt strukturiert wird, müssen die Zielmärkte bekannt sein und das Produkt muss innerhalb dieser Märkte leistungs- und preismässig positioniert werden. KOTLER / BLIEMEL verwenden in diesem Zusammenhang eine dreistufiges Vorgehensweise (Abb. 4–6).

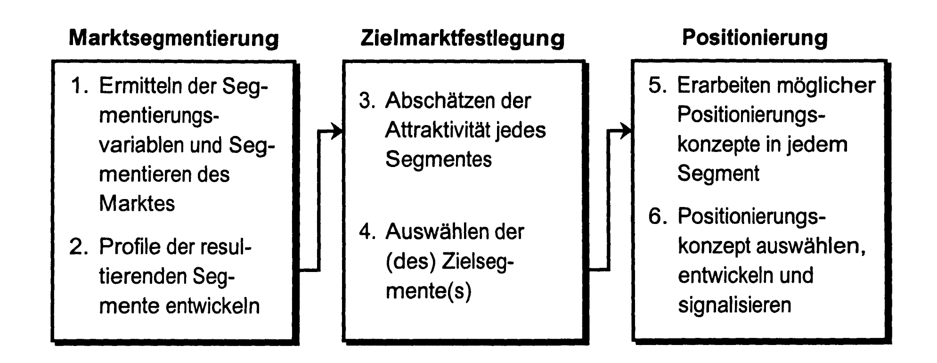


Abb. 4–6: Schrittfolge zur Marktsegmentierung und Positionierung[1]

In einem ersten Schritt werden die Segmentierungskriterien festgelegt. Die Segmentierung kann zum Beispiel nach geographischen, demographischen, psychographischen oder verhaltensbezogenen Variablen erfolgen. Die Segmentierung wird nach den als relevant erachteten Kriterien durchgeführt[2].

Anschliessend werden für die resultierenden Marktsegmente Profile erstellt. Hierbei werden beispielsweise die Grösse des Segments, die Einstellungen und Verhaltensweisen der entsprechenden Kunden sowie eine Reihe weiterer Faktoren ermittelt und in einer Tabelle zusammengestellt. Die Marktsegmente sollten messbar sein, eine ausreichende Grösse aufweisen, für das Unternehmen erreichbar, voneinander trennbar, sowie durch Methoden des Marketing ansprechbar sein[3].

Im dritten Schritt werden die Marktsegmente nach ihrer Attraktivität bewertet. Mögliche Kriterien hierfür sind die Grösse und das Wachstum, Eintritts- und Austrittsbarrieren, Gefahren durch die fünf Wettbewerbskräfte[4], sowie die Zielsetzungen und Möglichkeiten des Unternehmens[5].

---

[1] Quelle: Kotler / Bliemel (1995), S. 422.

[2] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 423 ff.

[3] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 447 ff.

[4] Vgl. Porter (1996), S. 22-28.

[5] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 448-451.

Ausgehend von der Bewertung werden im vierten Schritt die Zielsegmente ausgewählt. Neben der Spezialisierung auf ein einzelnes Segment kann sich das Unternehmen auf mehrere Segmente konzentrieren. Die Zusammenstellung der Segmente kann selektiv erfolgen, eine Spezialisierung auf gewisse Märkte oder Produkte beinhalten, oder auf eine vollständige Marktabdeckung abzielen[1].

Um sich innerhalb der gewählten Marktsegmente einen Wettbewerbsvorteil zu erarbeiten, muss das Unternehmen eine Positionierungsstrategie entwickeln. Durch die Positionierung muss für eine genügende Anzahl von Käufern ein Zusatznutzen zu einem erschwinglichen Preis entstehen, der Unterschied zu Konkurrenzprodukten muss deutlich erkennbar, genügend gross und von den Wettbewerbern schwierig nachzuahmen sein[2].

Schliesslich müssen eine oder mehrere Positionierungen gewählt werden. Mögliche Positionen sind beste Qualität, beste Dienstleistungen, niedrigster Preis, höchster Wert, bestes Preis-Leistungs-Verhältnis oder fortschrittlichste Technik[3].

4.1.2.2 Zeithorizont der Produktplanung

Die Produktstruktur wird massgeblich dadurch beeinflusst, wie lange ihr Lebenszyklus sein soll. In vielen Fällen entspricht der Lebenszyklus einer Produktstruktur dem Lebenszyklus des Produktes. Diese Verbindung ist jedoch keinesfalls zwingend. Unter dem herrschenden Kostendruck wird heute vermehrt versucht, den Produktstrukturlebenszyklus vom Produktlebenszyklus zu entkoppeln. In vielen Unternehmen wird versucht mit Hilfe von Plattformkonzepten[4] den Produktstrukturlebenszyklus zu verlängern: Dieselbe Plattform wird über mehrere Produktlebenszyklen und über Firmengrenzen hinweg eingesetzt. Die Bildung einer Plattform basiert auf dem Gleichteilekonzept, ist jedoch eine konsequente Weiterführung desselben. Gleichteile werden nicht erst bei einer Neuentwicklung gesucht, sondern bereits über grössere Zeit-

---

[1] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 451 ff.

[2] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 487-489.

[3] Vgl. Kotler / Bliemel (1995), S. 489 ff.

[4] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), Meyer / Lehnerd (1997), McGrath (1995), Wheelwright / Clark (1993).

horizonte vorgeplant[1]. In diesem Sinn sollte jede Produktstrukturierung die Planung der benötigten Produktplattformen einschliessen.

Bei Investitionsgütern und insbesondere im Anlagenbau werden bei Kaufentscheiden durch die Kunden in jüngerer Zeit vermehrt neben den Kosten der Beschaffung und des Betriebs auch die gesamten Lebenszykluskosten (Life Cycle Cost[2]) berücksichtigt. Dies führt dazu, dass die Produktstruktur zu Lasten der Herstellkosten zusätzlich auf Wartbarkeit, Verfügbarkeit und Entsorgbarkeit optimiert werden muss.

Eine weitere zeitliche Abhängigkeit der Produktstruktur entsteht durch die sich wandelnden Kundenbedürfnisse. Während Mobiltelefone in der Anfangsphase primär den Zweck hatten, die Erreichbarkeit des Besitzers sicherzustellen, haben sie sich inzwischen auch zu einem Modeartikel entwickelt. Heute sind für viele Telefone Gehäuse in den verschiedensten Ausführungen und Farben erhältlich, um das Handy nachträglich optisch zu verändern. Dies führt dazu, dass die Schnittstelle zwischen Gehäuse und eigentlichem Telefon anders gestaltet werden muss als früher. Die Produktstruktur hat sich also aufgrund veränderter Kundenbedürfnisse gewandelt.

4.1.2.3 Technologie

Die Wahl der Technologie, mit der ein Produkt realisiert werden soll, hat einen bedeutenden Einfluss auf die Produktstruktur. Ein Computerbildschirm, der in Bildröhrentechnologie hergestellt wird, besteht aus grundsätzlich anderen Komponenten als ein Flüssigkristallbildschirm, obwohl beide dieselbe Grundfunktion erfüllen. Die Produktstruktur kann also erst festgelegt werden, wenn die eingesetzte Technologie bekannt ist. Ist umgekehrt die Produktstruktur vorgegeben, so kommen unter Umständen gewisse Technologien zur Umsetzung nicht mehr in Frage.

Eine geeignete Produktstruktur kann aber auch dazu beitragen, technologische Barrieren zu überwinden. Dazu finden sich in der Computerindustrie wiederum zahlreiche Beispiele. Bei der Herstellung von Speicherchips ist die maximale Speicherkapazität pro Schaltkreis durch wirtschaftliche Faktoren begrenzt. Die Ausschussrate bei der

---

[1] Vgl. auch Kapitel 3.2.3.

[2] Vgl. Coenenberg (1996), S. 8–43-8–46.

Produktion steigt mit wachsender Chipfläche überproportional an. Oder anders formuliert: Die Ausschussrate ist abhängig von der benötigten Chipfläche. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kosten des Chips mit der dritten Potenz der Fläche ansteigen[1]. Daraus folgt, dass eine Vergrösserung der Fläche nur solange wirtschaftlich ist, als dass dieselbe Speicherkapazität nicht günstiger durch zwei Chips realisiert werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Kosten für ein zusätzliches Gehäuse kleiner sind, als die Kosten, die durch die vergrösserte Ausschussrate entstehen. Dies führt dazu, dass üblicherweise nicht der ganze Arbeitsspeicher eines Rechners in einem Baustein untergebracht ist, sondern dass mehrere gleichartige integrierte Schaltkreise verwendet werden. Dieser Aufbau entspricht einer Produktstruktur mit skalierbaren Einheiten, wie sie DOVE in seinen Designprinzipien für agile Systeme vorschlägt[2].

Eine ähnliche Stossrichtung wird mit Multiprozessor-Rechnern verfolgt. Die Rechenleistung, die durch einen einzelnen Prozessor zur Verfügung gestellt werden kann, reicht oftmals nicht aus, um rechenintensive Aufgaben zu lösen. Durch den Einsatz mehrerer Prozessoren in demselben Rechner kann dieses Problem teilweise gelöst werden. Die Grenze des Prinzips liegt in der zur Koordination der Prozessoren nötigen Kommunikation. Mit jedem zusätzlichen Prozessor steigt die notwendige Kommunikation überproportional an. Ab einer gewissen Zahl Prozessoren wird für einen zusätzlichen Prozessor mehr Rechenleistung für die zusätzliche Kommunikation benötigt, als der neue Prozessor selbst beisteuern kann. Die gesamte Rechenleistung sinkt dann mit zunehmender Zahl der Prozessoren ab[3].

Die zu verwendende Technologie beeinflusst sowohl die Produktstruktur, als auch deren Lebenszyklus. Falls zur Realisierung eines Produktes verschiedene Technologien in Frage kommen, kann jedoch umgekehrt die Wahl der Produktstruktur für die Wahl der Technologie entscheidend sein.

4.1.2.4 Zusatznutzen durch Produktstruktur

In vielen Fällen sind die einzigen Anforderungen an die Produktstruktur, dass sie erstens möglichst wenig Kosten verursachen darf und zweitens möglichst viele Kosten-

---

[1] Vgl. Hennessy / Patterson (1990), S. 60.

[2] Vgl. Dove (1995 a).

[3] Vgl. Müller et al. (1992), S. 57.

blöcke positiv beeinflussen soll. Neben den reinen Kostenaspekten sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Produktstruktur auch Zusatznutzen für den Kunden stiften kann. Basierend auf dieser Erkenntnis werden oft auch weitere Anforderungen an die Produktstruktur gestellt. Einige mögliche Produktstrukturziele werden im folgenden beschrieben.

4.1.2.4.1 Wartbarkeit

Eine auf die Produktstruktur bezogene Zielsetzung ist die Forderung nach Wartbarkeit des Produktes. Eine besonders gute Wartbarkeit hat für die Produktstruktur Konsequenzen auf mehreren Ebenen. Einerseits müssen die Schnittstellen zwischen den einzelnen Baugruppen des Produktes in Form von möglichst einfach auflösbaren Verbindungen ausgestaltet werden. Andererseits sollte das Produkt in Funktionsbaugruppen gegliedert werden. Durch Austausch ganzer Baugruppen kann die Stillstandzeit des Produktes verkürzt werden, weil die Fehlersuche nicht in der Stillstandzeit geschehen muss. Die Reparaturzeit der defekten Einheit kann ebenfalls reduziert werden, weil zur Fehlersuche neben reinen Bauteilprüfungen auch Funktionsprüfungen der ganzen Einheit eingesetzt werden können. Bei der Strukturierung sollte Teilen und Baugruppen, die einem Verschleiss unterliegen ein besonderes Augenmerk gelten[1]. Gute Zugänglichkeit und einfache Demontierbarkeit sind hier besonders wichtig[2].

Anwendungsbeispiele für wartungsorientierte Produktgliederungen finden sich unter anderem im Flugzeugbau. Die Navigationsrechner, *Flight Management and Guidance Computer* (FMGC) genannt, sowie viele weitere elektronische Geräte in einem Airbus A320 sind als Einschübe aufgebaut, die im Falle eines Defektes bei einer Zwischenlandung in kürzester Zeit ausgetauscht werden können.

4.1.2.4.2 Rekonfigurierbarkeit

Die Forderung nach der Rekonfigurierbarkeit eines Produktes hat ähnliche Konsequenzen wie die Wartbarkeit: Elemente sollen ausgetauscht werden können. In diesem Fall

---

[1] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 134.

[2] Vgl. Ulrich (1995), S. 437.

werden die Elemente jedoch nicht durch gleichartige ersetzt, sondern durch solche mit neuen Eigenschaften.

Auch für die Rekonfigurierbarkeit ist eine möglichst einfache Lösbarkeit der Verbindungen der betroffenen Elemente zu fordern. Die Schnittstellen der verschiedenen Varianten des auswechselbaren Elementes müssen identisch sein. Die Elemente werden so gebildet, dass die zu rekonfigurierenden Merkmale möglichst wenige Elemente beeinflussen.

Das Prinzip der Rekonfigurierbarkeit ist in vielen Produkten in der Praxis realisiert. In Personalcomputern wird die Schnittstelle zwischen den einzelnen Karten und dem Bussystem des Rechners häufig als Steckverbindung ausgeführt. Dies hat zwar den Nachteil der höheren Materialeinzelkosten, ermöglicht es aber dem Kunden, die Konfiguration des Rechners nachträglich zu ändern und so das Produkt den sich ändernden Bedürfnissen oder der fortschreitenden Technik anzupassen. Ein anderer prominenter Vertreter dieses Prinzips ist der Smart der DaimlerChrysler-Tochter Micro Compact Car (MCC) AG: Der Kunde kann die lackierten Karosserieteile seines Autos, die sogenannten Body Panels, nachträglich innerhalb kürzester Zeit wechseln lassen und so die Farbe ändern[1].

4.1.2.4.3 Robustheit gegenüber Veränderungen

Ein Ziel, das mit einer Produktstrukturierung verfolgt wird ist, sicherzustellen dass nicht jede Änderung des Sortiments auch eine schwerwiegende Änderung der Produktstruktur notwendig macht. Deshalb müssen im Vorfeld zur Strukturierung Elemente identifiziert werden, bei denen die Wahrscheinlichkeit einer Änderung im Lauf des Lebenszyklus der Produktstruktur gross ist. Diese Elemente sollten so in die Struktur integriert werden, dass sich eine Änderung wenn möglich nur auf diese Baugruppen beschränkt.

Veränderungen können sich nicht nur auf die Funktionalität des Produktes beziehen, sondern auch auf weiche Faktoren wie das Aussehen. In der Skiindustrie ist es zum

---

[1] Baldwin / Clark (1999), S. 2–43 fassen die in den Abschnitten Wartbarkeit und Rekonfigurierbarkeit beschriebenen Eigenschaften unter dem Begriff *modularity in use* zusammen.

Beispiel üblich, jährlich das Deckblatt zu wechseln, auch wenn am Aufbau des Skis und damit an der Funktionalität nichts verändert wurde. Gründe für Veränderungen von Elementen können also neben technologischen Entwicklungen auch sich wandelnde Marktanforderungen sein[1].

4.1.3 Vorgängerprodukte

Sehr häufig kann auch bei der Neuentwicklung eines Produktes die Produktstruktur nicht von Grund auf neu definiert werden. Meist gibt es eine ganze Reihe von Einschränkungen, die berücksichtigt werden müssen: Aus Gründen der Kompatibilität sollen zum Beispiel die Schnittstellen gleich gestaltet werden wie bei Vorgängerprodukten. Oder gewisse Baugruppen von bestehenden Lösungen sollen übernommen werden, um deren Lebenszyklus zu verlängern[2]. Solche und andere Gründe führen dazu, dass häufig vor der eigentlichen Produktstrukturierung eines neuen Produktes die Produktstruktur bestehender Produkte untersucht werden muss.

Durch die zusätzliche Untersuchung der Kostenstruktur bestehender Produkte kann ausserdem festgestellt werden, welche Massnahmen der Produktstrukturierung tendenziell den besten Erfolg versprechen.

In den folgenden Abschnitten wird deshalb aufgezeigt, wie eine bestehende Produktstruktur analysiert werden kann, und wie aus der Stückkostenstruktur auf erfolgversprechende Produktstrukturierungsmassnahmen geschlossen werden kann.

4.1.3.1 Produktstrukturanalyse

Die Produktstrukturinformationen sind in einem Unternehmen typischerweise nicht in gebündelter Form verfügbar. Dies führt dazu, dass zur Untersuchung einer bestehenden Produktstruktur oft eine Produktstrukturanalyse durchgeführt werden muss. Diese teilt sich auf in eine Analyse der Vielfalt und eine solche der Beziehungen zwischen den Elementen.

---

[1] Vgl. Erixon (1998), S. 73, sowie Ulrich / Eppinger (1995), S. 133-134.

[2] Baldwin / Clark (1999), S. 4–20-4–22 sprechen in diesem Zusammenhang von *porting*.

4.1.3.1.1 Vielfaltsinformation

Die von SCHUH[1] entwickelte Variantenbaummethode ermöglicht die Bestimmung der Variantenvielfalt eines Produktes entlang des Montageprozesses, sowie deren Visualisierung mit Hilfe des Softwarepakets VARIANTENBAUM® (Abb. 4–7).

Die Analyse der Vielfalt erfolgt in zwei Schritten. Die Beschreibung der Produktvielfalt durch Kombinationen von Merkmalen und Ausprägungen bildet den ersten Schritt. Im zweiten Schritt wird die Vielfalt durch die Kombinationsmöglichkeiten der Komponentenvarianten auf eine zweite Art bestimmt. Die gegenseitige Überprüfung der Resultate führt zu einem konsistenten Variantenbaum. Der Aufbau eines Variantenbaums soll im folgenden am Beispiel einer PKW-Auspuffanlage aufgezeigt werden[2].

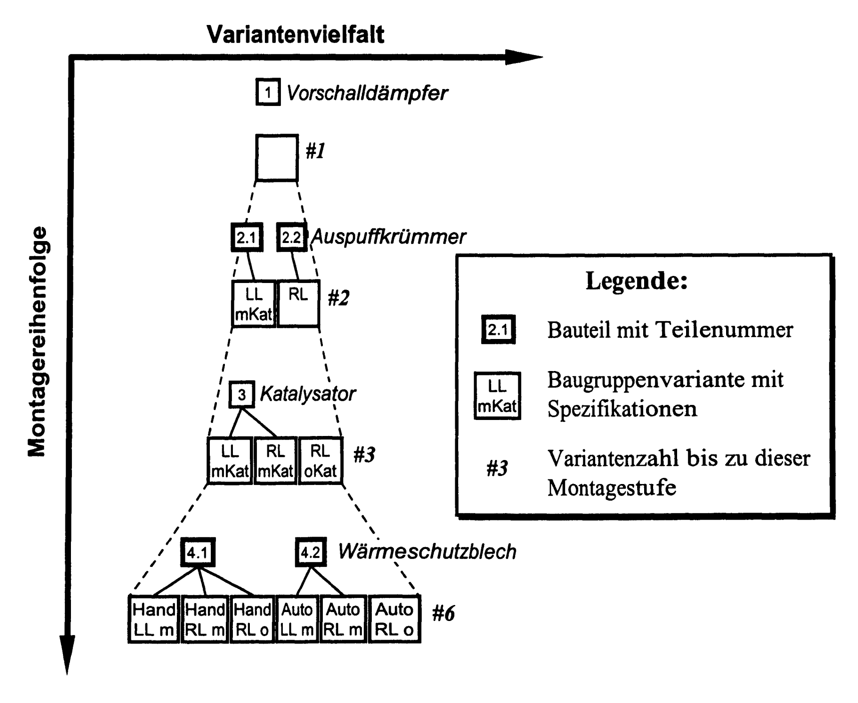


Abb. 4–7: Variantenbaum einer PKW-Auspuffanlage

[1] Vgl. Schuh (1989), S. 45-54.

[2] Vgl. Schuh (1989), S. 47.

Zuerst werden die verschiedenen Varianten der Auspuffanlage anhand von Merkmalen und Ausprägungen beschrieben, ohne dass dabei auf die Bestandteile eingegangen wird (Tab. 4–1). Die Auspuffanlagenvarianten unterscheiden sich nach der Lenkseite, nach der Abgasreinigung, sowie nach der Getriebeart.

Merkmale	Ausprägung 1	Ausprägung 2
Lenkseite	Linkslenker	Rechtslenker
Abgasreinigung	mit Katalysator	ohne Katalysator
Getriebeart	Handschaltung	Automatik

Tab. 4–1: Merkmale und Ausprägungen einer Auspuffanlage

Fahrzeuge ohne Katalysator werden nur als Rechtslenker angeboten, was einer Einschränkung der Kombinationsmöglichkeiten entspricht (Tab. 4–2). Die Variantenvielfalt kann nun aus den erlaubten Ausprägungskombinationen bestimmt werden und beträgt im Beispiel sechs Varianten. Diese Beschreibung des Produktes durch kundenrelevante Merkmalsausprägungen entspricht der von SCHALLER vorgeschlagenen Gliederung in Verkaufsgruppen[1].

Ausprägung	nur erlaubt mit
ohne Katalysator	Rechtslenker

Tab. 4–2: Kombinationseinschränkung am Beispiel Auspuffanlage

Die Variantenvielfalt lässt sich aber auch ausgehend von den Bauteilen bestimmen. Dazu wird eine Maximalstückliste erstellt, die alle Varianten jedes verbauten Teils enthält (Tab. 4–3). Bei der Berechnung der Variantenvielfalt muss berücksichtigt werden, dass sowohl Muss-Teile als auch Kann-Teile möglich sind, die sich in bezug auf die verursachte Variantenvielfalt unterscheiden. Kann-Teile kommen, im Gegensatz zu den Muss-Teilen, nicht in allen Endproduktvarianten vor. Sie erzeugen also auch Varianten, wenn sie nicht verbaut werden. Im Variantenbaum wird diesem

[1] Vgl. Schaller (1980), S. 31-33.

Sachverhalt mit einem Bauteilekenner Rechnung getragen. Muss-Teile werden aufgeteilt in Standardteile (ohne Kenner), die immer in derselben Form verbaut werden und Ersatzvariantenbauteile (Kenner E), die ebenfalls immer, aber in unterschiedlichen Ausführungen vorkommen. Kann-Teile werden gleichermassen unterteilt in Zusatzteile (Kenner Z), die in nur einer Ausführung existieren und Zusatzersatzvariantenteile (Kenner ZE), die, wenn sie vorkommen, noch verschiedene Ausführungen aufweisen können.

Nr.	Kenner	Bezeichnung	Teilenummer	Menge	Teileverwendung
1		Vorschalldämpfer	12.635.01	1	
V1	---	***Montageschritt 1 (#1)***	---	---	---
2.1	E	Auspuffkrümmer	12.764.01	1	Linkslenker
2.2	E	Auspuffkrümmer	12.764.02	1	Rechtslenker
V2	---	***Montageschritt 2 (#2)***	---	---	---
3	Z	Katalysator	07.926.08	1	mit Katalysator
V3	---	***Montageschritt 3 (#3)***	---	---	---
4.1	E	Wärmeschutzblech	52.121.04	1	Handschaltung
4.2	E	Wärmeschutzblech	52.121.09	1	Automatik
V4	---	***Montageschritt 4 (#6)***	---	---	---

Tab. 4–3: Maximalstückliste zur Erstellung eines Variantenbaums

Durch die Spalte *Teileverwendung* in der Maximalstückliste wird der Zusammenhang zwischen den Beschreibungen der Vielfalt durch Merkmale und Ausprägungen einerseits und Teilevarianten andererseits hergestellt. Jede Teilevariante muss ihre Existenz durch eine Teileverwendung rechtfertigen. Demgegenüber muss auch jede Merkmalsausprägung zur Unterscheidung von Produktvarianten verwendet werden. Durch diese Konsistenzprüfung wird sichergestellt, dass nicht dieselbe Produkteigenschaft durch zwei verschiedene Merkmale beschrieben wird, und dadurch eine nicht der Realität entsprechende Variantenzahl entsteht. Nach Abschluss dieses Schrittes sind alle Informationen vorhanden, die zur Erzeugung der bereits gezeigten grafischen Darstellung (Abb. 4–7) notwendig sind.

Die Variantenbaummethode stellt ein ausgezeichnetes Hilfsmittel dar, um die Vielfalt der Elemente eines Produktes, sowie die Vielfalt des Gesamtproduktes zu bestimmen. Die Beschreibung durch Merkmale und Ausprägungen ermöglicht eine vollständige Abbildung der Vielfalt der Elementvarianten eines Produktes. Hingegen sind Informationen bezüglich der Beziehungen und Schnittstellen zwischen den Elementen im Variantenbaum nur unvollständig abgebildet. Für eine komplette Abbildung der Produktstruktur muss der Variantenbaum deshalb noch um die Beziehungsinformation ergänzt werden.

4.1.3.1.2 Beziehungsinformation

Zur Schaffung einer neuen Produktstruktur müssen oft auch Beziehungsinformationen einer bestehenden Produktstruktur berücksichtigt werden. Es ist jedoch nicht sinnvoll, die gesamte Information mit einzubeziehen, da der Nutzen diesen Aufwand nicht rechtfertigt. Vielmehr werden nur ausgesuchte Informationen beschafft, welche für die neue Struktur von Belang sind.

Hierbei handelt es sich insbesondere um Schnittstellendefinitionen, welche aus Gründen der Kompatibilität weiterhin verwendet werden sollen. Diese werden sowohl bezüglich der Vielfaltsinformation, als auch bezüglich der nicht vielfaltsrelevanten Angaben im vollen Umfang dokumentiert.

Weiter werden auch Blockschaltbilder und andere Dokumente mit Informationen zum Grobaufbau der Produktstruktur als Grundlage für die Neuentwicklung eingesetzt.

4.1.3.2 Stückkostenstruktur

Die Produktstruktur beeinflusst die Stückkosten des Produktes sowohl in bezug auf die Höhe, als auch auf die Anteile der einzelnen Kostenblöcke. Umgekehrt können aus der Stückkostenstruktur gewisse Rückschlüsse auf mögliche Verbesserungen der Produktstruktur gezogen werden. Die Produktstruktur übt auf sämtliche Kostenblöcke einen mehr oder weniger grossen Einfluss aus. Um die Einflüsse zu quantifizieren müssten alternative Produktstrukturen im Sinne einer Sonderrechnung miteinander verglichen werden. Diese Rechnungen sind im Allgemeinen recht aufwendig und deshalb nicht in

jedem Fall sinnvoll. Um dennoch einen Anhaltspunkt über sinnvolle Massnahmen zur Produktstrukturierung zu erhalten, bietet sich eine Betrachtung in groben Kostenblöcken an.

Die Kostenwirkung der Produktstruktur ist bei den Kostenarten Materialkosten, Fertigungskosten, sowie Basis- und Projektentwicklungskosten besonders deutlich.

Die Materialeinzelkosten werden insbesondere durch die Bereichsgrösse der einzelnen Merkmalsausprägungen beeinflusst. Wird die benötigte Bandbreite eines Merkmals in nur wenige Bereiche aufgeteilt, so ist tendenziell eine Überdimensionierung notwendig, die sich in den Materialeinzelkosten niederschlägt. Im Extremfall wird die gesamte Bandbreite des Merkmals durch eine einzige Ausprägung abgedeckt. Dies führt dazu, dass die Ausprägung den höchstmöglichen Anforderungen genügen muss. Im anderen Extrem wird das Merkmal so in Bereiche aufgeteilt, dass jede Anforderung ohne Reserven abgedeckt wird. Die Materialeinzelkosten sind in diesem Fall minimal.

Der Einfluss auf die direkten Fertigungskosten erfolgt hauptsächlich über die Anzahl Varianten der einzelnen Elemente. Die Rüstkosten werden durch die Anzahl der benötigten Prozessvarianten getrieben. Die Anzahl der Prozessvarianten ist häufig eine Funktion der Anzahl Elementvarianten. Eine grössere Variantenvielfalt der Elemente führt deshalb zu erhöhten Rüstkosten. Dagegen ist die Auswirkung der Produktstruktur auf die Bearbeitungskosten nicht so eindeutig feststellbar. Dasselbe gilt für die Montage, deren Prozessvarianten üblicherweise weniger stark als die Fertigungskosten durch Elementevarianten getrieben sind. Unabhängig von der physischen Produktstruktur können die Montagekosten durch eine geeignete montageorientierte Erzeugnisgliederung positiv beeinflusst werden.

Material- und Fertigungsgemeinkosten werden von Seiten der Produktstruktur vor allem durch die Anzahl zu verwaltender Objekte beeinflusst. Die Elementevielfalt beeinflusst die Kosten für Einkauf, Wareneingangsprüfung, Lagerung, Arbeitsvorbereitung und Dokumentation. Wird pro Endproduktvariante eine Artikelnummer verwaltet, so ist auch die Anzahl der Endproduktvarianten ein Kostentreiber dieser Kostenblöcke. Aus Sicht der Logistikkosten ist eine möglichst geringe Variantenzahl auf allen Fertigungsstufen anzustreben.

Im Bereich der Entwicklungskosten sind die Einmalkosten für die Basisentwicklung abzuwägen gegen die Kosten für projektspezifische Anpassungen. Wird ein Produkt im Sinne einer Plattform entwickelt, welche für möglichst viele Anwendungen einsetzbar ist, so werden die Basisentwicklungskosten ansteigen. Im Gegenzug können Kosten für das Engineering einzelner Projekte gespart werden.

Die Beeinflussung der Stückkosten durch die Produktstruktur ist geprägt durch Trade-offs zwischen verschiedenen Kostenarten. Bevor ein Produkt neu strukturiert wird, muss deshalb zuerst geprüft werden, welche Kostenblöcke dominant sind und in welchen Bereichen eine Kostenreduktion besonders erfolgversprechend ist.

Als Ausgangspunkt der Betrachtung können Stückkosten bestehender Produkte dienen. Die Stückkosten werden bezüglich der durch die Produktstruktur beeinflussbaren Kosten untersucht und die Beeinflussbarkeit der einzelnen Kostenblöcke beurteilt. Durch dieses Vorgehen wird verhindert, dass Massnahmen eingeleitet werden, die nicht zum gewünschten Erfolg führen[1].

4.1.4 Funktionalität und Vielfalt des Produktes

Die Funktionalität eines Produktes muss auf die Bedürfnisse der Zielmärkte abgestimmt werden. Eine zu grosse Vielfalt ist ebenso schädlich wie eine zu geringe. Bei der Bestimmung der Vielfalt handelt es sich also um ein Optimierungsproblem. Die optimale Vielfalt ist dann erreicht, wenn ein maximaler Nutzenüberschuss entsteht (Abb. 4–8).

---

[1] Im Rahmen des Fallbeispiels in Kapitel 5 wird die Bewertung von Kostenbeeinflussungspotentialen aufgezeigt.

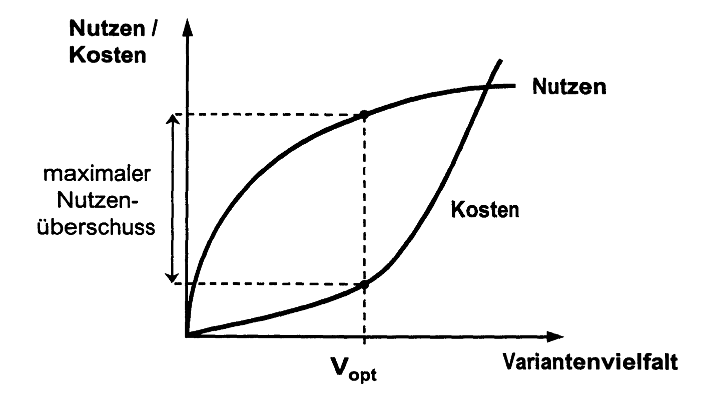


Abb. 4–8: Nutzenoptimale Vielfalt[1]

Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht eine optimale Variantenzahl als Vorgabe für die Produktstrukturierung ermittelt werden kann. Die Vielfalt ist immer ein Kostentreiber. Der Produktnutzen ist dagegen nicht eine Funktion der Vielfalt, sondern eine Funktion der geeigneten Kombination von Produktmerkmalen. Eine grössere Variantenzahl muss also nicht zwingend zu einem grösseren Nutzen führen. Wichtiger als die Frage nach der Anzahl der Varianten ist daher die Frage nach den richtigen Varianten. Oder anders formuliert: Das Produkt muss die sich aus den Zielmärkten ergebenden Anforderungen abdecken können. Die benötigte Variantenzahl leitet sich aus diesen Anforderungen an die Funktionalität ab[2]. Das Ziel besteht darin, dass sich die am Markt angebotenen Produktvarianten möglichst genau mit den Marktbedürfnissen decken (Abb. 4–9).

---

[1] Quelle: Rathnow (1993), S. 44.

[2] Aus den marktseitigen Anforderungen kann die benötigte Variantenzahl bestimmt werden. Die Variantenzahl bildet eine Kenngrösse, aus der nicht mehr auf die Anforderungen rückgeschlossen werden kann. Die in der Variantenzahl enthaltene Information ist nicht hinreichend als Sollwert für die Produktstruktur.

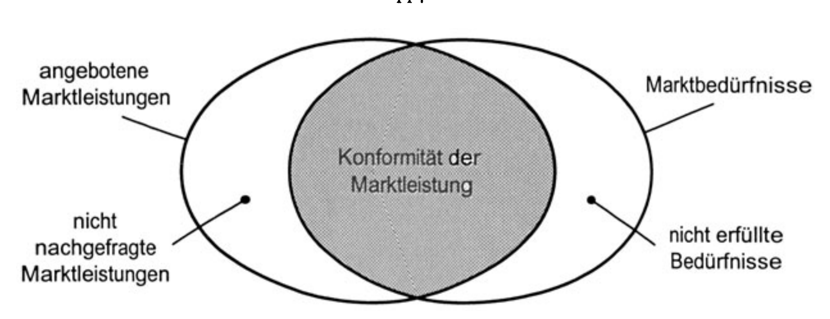


Abb. 4–9: Übereinstimmung von Marktleistung und Marktbedürfnissen[1]

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie die Marktbedürfnisse ermittelt und in welcher Form sie am besten befriedigt werden können. In den nächsten Abschnitten wird deshalb eine Vorgehensweise zur Bestimmung des Funktionsumfangs vorgestellt. Abb. 4–10 zeigt die Schritte im Überblick.

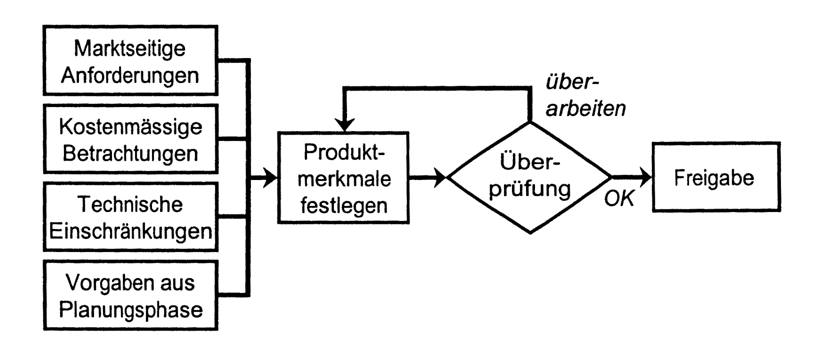


Abb. 4–10: Bestimmung des marktseitig benötigten Leistungsspektrums[2]

Die vielfaltsrelevanten Entscheide werden üblicherweise nicht auf Stufe Endprodukt, sondern primär auf Stufe der einzelnen Produktmerkmale und sekundär auf Stufe der Teile- und Komponentenvarianten gefällt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich deshalb hauptsächlich auf die geeignete Wahl einzelner Merkmale und

---

[1] In Anlehnung an Teboul (1991), S. 26-48.

[2] Für Faktoren mit Einfluss auf die optimale Vielfalt Vgl. auch Hichert (1986 b), S. 674.

Ausprägungen. Im Rahmen der Festlegung der Produktmerkmale wird jedoch auch die geeignete Kombination der Merkmalsausprägungen berücksichtigt.

4.1.4.1 Ermitteln und Klassieren der Marktanforderungen

Zur Ermittlung von Marktanforderungen an ein Produkt bestehen verschiedene Möglichkeiten. Da Marktanforderungen schwierig zu messen sind, empfiehlt sich der kombinierte Einsatz mehrerer Methoden, um die Zuverlässigkeit der gewonnenen Daten zu erhöhen. Der Einsatz der Methoden richtet sich auch nach den Möglichkeiten des entsprechenden Marktes. Im folgenden werden einige Methoden beschrieben.

Die Kundenbefragung ist eine klassische Methode der Marktforschung, bei der sich Personen zum Untersuchungsgegenstand, in unserem Fall zu den Produkteigenschaften, zu äussern haben[1]. Die Befragung kann mündlich oder schriftlich erfolgen, wobei versucht wird, die Einflüsse verschiedener Produkteigenschaften auf das Kaufverhalten zu ermitteln. Ein Element der Befragung, welches die Validität der Aussagen in hohem Mass beeinflusst, ist die Auswahl der Befragten[2]. Neben der Befragung von zufällig ausgewählten Personen, bietet sich insbesondere die Befragung von bestehenden Kunden oder Kunden von Konkurrenten an. Einschränkend auf die Validität wirkt sich aus, dass Aussagen von Kunden in einer Laborsituation nicht unbedingt ihrem tatsächlichen Verhalten in der Realität entsprechen müssen[3]. Die durch Befragungen gewonnenen Daten sind üblicherweise in der Sprache des Kunden formuliert und müssen für die weitere Verwendung in die Form von messbaren Spezifikationen gebracht werden[4].

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Verkaufszahlen von Produkten auf einzelne Merkmale und Ausprägungen herunterzubrechen. Dies ermöglicht das Erkennen von Ausprägungen mit wenig Nachfrage und solchen, die einen grossen Anteil an den verkauften Produkten ausmachen. Diese Aussagen lassen sich normalerweise nicht direkt auf Stufe der Endproduktvarianten treffen, weil nicht ersichtlich ist, welche

---

[1] Vgl. Hammann / Erichson (1990), S. 77.

[2] Vgl. Berekoven et al. (1989), S.89.

[3] Vgl. Hammann / Erichson (1990), S. 156.

[4] Ulrich / Eppinger (1995), S. 54-75 beschreiben eine Vorgehensweise zur Umsetzung von Kundenbedürfnissen in Produktspezifikationen.

Merkmale wie stark zu dem erzielten Verkaufserfolg beigetragen haben. Abb. 4–11 zeigt ein Beispiel einer Stückzahlanalyse, wie sie für die Breite von Materialschränken bei der Schrank GmbH durchgeführt wurde.

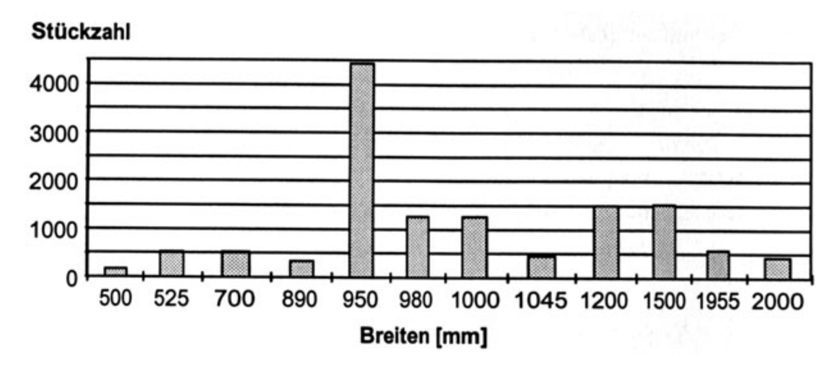


Abb. 4–11: Analyse der Verkaufszahlen pro Merkmal am Beispiel der Schrank GmbH

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Verkaufszahlen häufig nur unvollständig auf die Endnachfrage schliessen lassen, da sich Änderungen der Lagerbestände im Handel verzerrend auswirken[1]. In solchen Fällen werden häufig Panelerhebungen durchgeführt[2].

Im weiteren können Kundenanforderungen auch durch Analyse von Ausschreibungen und Lastenheften früherer Projekte bestimmt werden. Die so gewonnen Daten müssen aber mit der nötigen Vorsicht betrachtet werden. Die Aussagen sind rein vergangenheitsorientiert und deshalb nur von beschränkter Gültigkeit. Durch die üblicherweise relativ geringe Anzahl der verfügbaren Unterlagen besteht zudem die Gefahr, dass Sonderwünsche von Einzelkunden zu stark gewichtet werden. Dennoch sind solche Ausschreibungen im Projektgeschäft eine der wenigen Möglichkeiten zur Datenerhebung und daher von grosser Bedeutung.

Eine weitere wichtige Quelle für Produktspezifikationen sind Konkurrenzanalysen. Um ein Produkt gegenüber den Angeboten der Konkurrenz differenzieren zu können,

---

[1] Vgl. Hammann / Erichson (1990), S. 133.

[2] Vgl. Meffert (1992), S. 213-220.

müssen die Produktspezifikationen systematisch verglichen werden[1]. Nachteilig wirkt sich hier der grosse Aufwand zur Beschaffung von Konkurrenzdaten aus. Weil Verkaufsunterlagen oft nicht die gewünschten Informationen in der nötigen Qualität enthalten, müssen Konkurrenzprodukte beschafft, getestet und demontiert werden. Zudem müssen die Herstellkosten der Produkte der wichtigsten Wettbewerber geschätzt werden. Aufgrund ihrer Wichtigkeit für den Produkterfolg sind Analysen von Konkurrenzprodukten trotz des relativ grossen Aufwandes oft unerlässlich[2].

Weitere Informationsquellen für Kundenanforderungen können Fachzeitschriften, Messebesuche, Expertengespräche, Szenario-Techniken[3], Benchmarkings oder interne Workshops sein.

Die gewonnenen Anforderungen an ein Produkt müssen kategorisiert und nach ihrer Wichtigkeit geordnet werden[4]. Dieses Vorgehen dient dazu, Klarheit darüber zu gewinnen, welche der vielen möglichen Anforderungen an das Produkt bei der Umsetzung berücksichtigt werden sollen.

Eine dreistufige Kategorisierung der Kundenbedürfnisse wird durch das KANO-Modell ermöglicht (Abb. 4–12)[5].

Basisanforderungen sind nicht dazu geeignet, Kundenzufriedenheit zu erzeugen. Es handelt sich hierbei vielmehr um eine Art Hygienefaktoren[6], bei deren Schlechterfüllung Unzufriedenheit entsteht. Eine Basisanforderung ist zum Beispiel, dass ein Automobil mit Sicherheitsgurten ausgerüstet sein muss. Im Falle von *Leistungsanforderungen* ist die Kundenzufriedenheit abhängig vom Erfüllungsgrad der Forderungen. Leistungsmerkmale eines Produktes sind geeignet, um sie gegenüber den Produkten der Konkurrenten zu differenzieren. Ein Beispiel eines Leistungsmerkmals ist die Motorleistung eines Automobils. *Begeisterungsanforderungen* erhöhen die Kundenzufriedenheit erheblich durch einen positiven Überraschungseffekt und werden vom

[1] Hichert (1986 b), S. 223-227 stellt Methoden zum Wettbewerbsvergleich des Produktprogramms, der Produktkonzeption, des Produktionssystems, sowie des Anwendernutzens vor.

[2] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 61.

[3] Vgl. Berekoven et al. (1989), S. 275-279.

[4] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 46.

[5] Vgl. Kano et al. (1984), S. 39-48.

[6] Vgl. Kaiser (1995), S. 103.

Kunden entsprechend honoriert. Im Automobilbereich kann beispielsweise ein neues Extra, das kein Konkurrent anbietet, ein solches Begeisterungsmerkmal sein[1]. Begeisterungsanforderungen können sich im Laufe der Zeit zu Leistungs- oder Basisanforderungen wandeln.

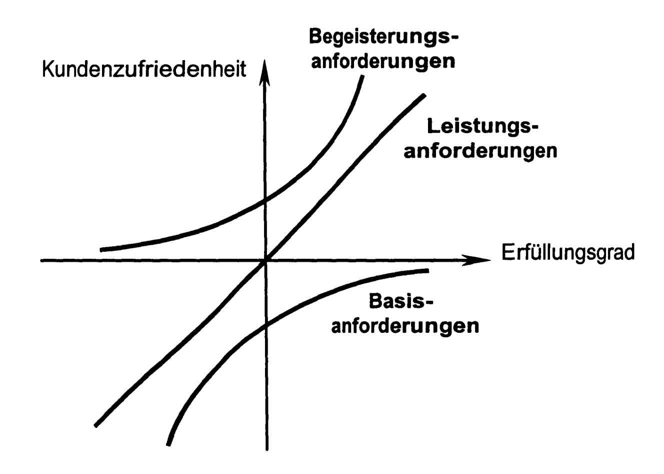


Abb. 4–12: KANO-Modell zur Kategorisierung von Kundenbedürfnissen

Um die Anforderungen nach ihrer Wichtigkeit zu ordnen, werden sie in einer Arbeitssitzung durch ein Team bewertet[2]. Soweit dies möglich ist, werden auch Kunden zur Wichtigkeit der Eigenschaften befragt.

Genauere Aussagen über den Nutzen von Produkteigenschaften können mit Hilfe des Conjoint-Measurement getroffen werden[3]. Das Grundkonzept des Conjoint-Measurements ist relativ einfach: Dem Kunden werden jeweils zwei Gesamtproduktprofile vorgelegt. Entsprechend seinen Präferenzen muss er sich für eines der beiden entscheiden. Dabei ist jedesmal ein Trade-off zu machen, zum Beispiel hohe Qualität zu relativ hohem Preis versus mittlere Qualität zu relativ geringem Preis. Durch Variation

---

[1] Vgl. Groos (1997), S. 155-157.

[2] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 46.

[3] Für weitergehende Informationen zur Conjoint-Analyse Vgl. Schubert (1991), S. 114 ff.

der Merkmalsausprägungen sowie des Preises ist es möglich, auf indirektem Wege die Nutzenfunktion der einzelnen Produktmerkmale zu bestimmen[1].

4.1.4.2 Kostenmässige Betrachtungen

In einem nächsten Schritt wird untersucht, welche kostenmässige Auswirkungen die Wahl bestimmter Merkmale und Ausprägungen mit sich bringt. Dabei handelt es sich sowohl um Merkmale der Produktstrukturelemente, als auch um solche der Schnittstellen zwischen den einzelnen Baugruppen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Produktmerkmale verschiedenartige Charakteristiken aufweisen können, was sich auf die vielfaltsgetriebenen Kosten auswirkt.

Abb. 4–13 zeigt die möglichen Ausprägungscharakteristiken von Produktmerkmalen. Viele Produktmerkmale weisen von Natur aus eine diskrete Charakteristik mit klar *abgegrenzten* Ausprägungen auf. Das Merkmal Rollenmaterial bei einem Schiebewagen weist zum Beispiel die Ausprägungen Alu, Nylon oder Gummi auf.

Andere Produktmerkmale verlaufen von Natur aus kontinuierlich und können innerhalb eines Intervalls jeden beliebigen Wert annehmen. Da es in den wenigsten Fällen sinnvoll ist, für jede Anforderung eine neue Produktvariante zu schaffen, muss bei der Umsetzung in eine technische Lösung der Leistungsbereich von Parametern in diskrete Ausprägungen aufgeteilt werden[2]. Eine solche Massnahme kann beispielsweise die Abstufung von Regalen in verschiedene Höhen sein, oder die Einteilung der geforderten Leistungsbandbreite von Elektromotoren in diskrete Werte. Auch die Bildung einer Baureihe von Laserdruckern mit verschiedenen Druckgeschwindigkeiten entspricht einem solchen Entscheid. Für die Umsetzung eines kontinuierlichen Merkmals in diskrete Ausprägungen kommen alle drei in Abb. 4–13 gezeigten Möglichkeiten in Frage. Dabei bestehen verschiedene Freiheitsgrade. Einerseits können die Bereiche nach Art und Anzahl festgelegt werden, andererseits auch die Punkte, an dem von einer Ausprägung zur nächsten übergegangen wird[3].

---

[1] Vgl. Laker (1995), S. 16-17.

[2] Hierbei geht es um Parameter, die einen Bereich verschiedener Anforderungen abdecken sollen. Parameter, die eine spezielle Anforderung in einem Toleranzband erfüllen müssen, fallen nicht in diese Kategorie.

[3] Vgl. hierzu auch Suzue / Kohdate (1990), S. 66-68.

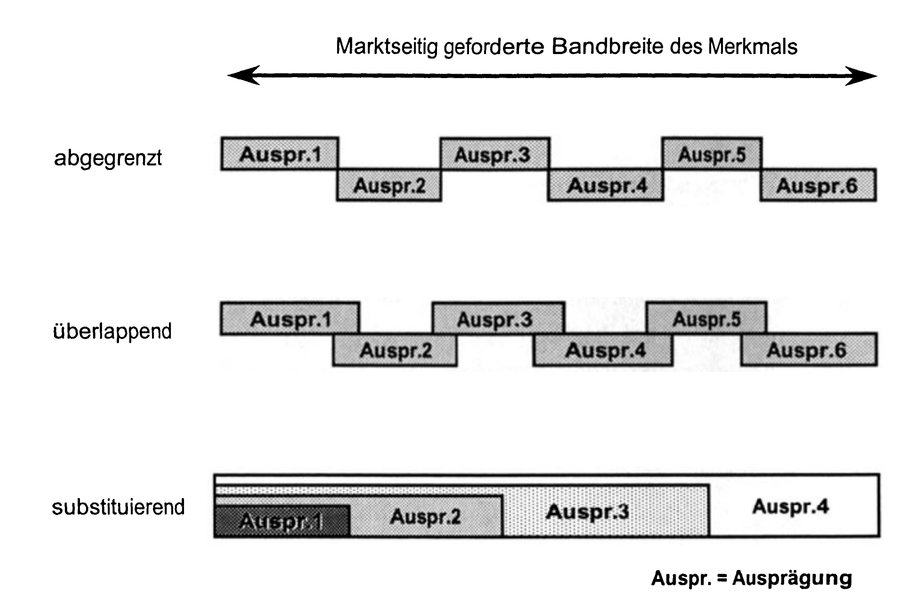


Abb. 4–13: Abdeckung der marktseitig geforderten Bandbreite[1]

Abgegrenzte Ausprägungen zeichnen sich dadurch aus, dass jede geforderte Produkteigenschaft eindeutig einer Ausprägung des Produktmerkmals zugeordnet werden kann. Bei *überlappenden* Ausprägungen ist diese Zuordnung nicht eindeutig möglich. Mehrere Produktvarianten können die geforderte Produkteigenschaft abdecken. Bei *substituierenden* Ausprägungen kann jeweils die nächst leistungsfähigere Ausprägung alle darunter liegenden Ausprägungen ersetzen. Die leistungsfähigste Ausprägung kann die gesamte marktseitig geforderte Bandbreite abdecken.

Bei der Aufteilung kontinuierlicher Merkmale stellt sich die Frage, welches die kostenoptimale Anzahl Intervalle ist. Eine kleine Anzahl Intervalle führt zu erhöhten proportionalen Kosten durch notwendig werdende Überdimensionierung. Ist eine bestimmte Ausprägung eines Parameters nicht verfügbar, so muss immer auf die nächst leistungsfähigere, verfügbare Variante ausgewichen werden. Wenn ein Kunde eine Motorleistung von 550 W benötigt, jedoch nur eine solche von 400 W oder 600 W erhältlich ist, so muss er auf 600 W ausweichen. Es wird angenommen, dass der Kunde nicht

---

[1] Quelle: Zich (1996), S. 28.

bereit ist, deshalb einen Mehrpreis zu bezahlen. Die Überdimensionierungskosten gehen daher voll zu Lasten des Herstellers. Für eine grobe Abschätzung der Kosten der Überdimensionierung kann die folgende Formel verwendet werden[1]:

$$c_{\ddot{u}}(n) = \frac{k}{n^2} \cdot \frac{c_g - c_k}{2}$$

$c_{\ddot{u}}$	:	Gesamtkosten der Überdimensionierung
k	:	Gesamtstückzahl
n	:	Anzahl Intervalle des Parameters
c_g	:	Proportionale Kosten für ein Produkt mit der grössten Ausprägung des Parameters
c_k	:	Proportionale Kosten für ein Produkt mit der kleinsten Ausprägung des Parameters

Eine grosse Anzahl Intervalle dagegen führt zu grösseren Kosten in der Entwicklung und im Engineering, weil zusätzliche Varianten entwickelt werden müssen. Hinzu kommen Werkzeugkosten und weitere variantengetriebene Einmalkosten zur Sortimentspflege, der Dokumentation und so fort. Die folgende Formel erlaubt eine erste Grobabschätzung der Einmalkosten für die Schaffung aller Ausprägungen des Parameters[2]:

$$c_e(n) = c_o \cdot \sum_{i=1}^{n} a^{\frac{\ln(i)}{\ln 2}}$$

c_e	:	Gesamte Einmalkosten aller Ausprägungen des Parameters
c_o	:	Einmalkosten zur Schaffung der ersten vom Grundprodukt abgeleiteten Variante des Parameters
a	:	Erfahrungsfaktor (Bsp: 15% Erfahrungskurve ergibt a=0,85)
n	:	Anzahl Ausprägungen des Parameters

Einen weiterer Kostenblock, der durch die Anzahl der Ausprägungen eines Parameters beeinflusst wird, bilden die Rüstkosten. Die Rüstkosten fallen einmal pro Produk-

[1] Die Herleitung der Formel und Einschränkungen in der Anwendbarkeit sind im Anhang 2 beschrieben.

[2] Die Herleitung der Formel, sowie Einschränkungen der Anwendung finden sich im Anhang 2.

tionslos an und wirken sich je nach Losgrösse unterschiedlich stark auf die Stückkosten aus. Um diese Kosten quantifizieren zu können, muss der Zusammenhang zwischen der Anzahl Ausprägungen des betrachteten Parameters und der Losgrösse bekannt sein. Dieser Zusammenhang unterscheidet sich fallweise stark, weshalb keine allgemeingültige Näherungsformel angegeben werden kann. Der Einfluss der Anzahl Ausprägungen eines Parameters auf die Losgrösse muss je nach Anwendungsfall abgeschätzt werden. Diese Kosten steigen jedoch in der Regel mit zunehmender Vielfalt überproportional stark an.

An einem Beispiel soll das Vorgehen zur Bestimmung der kostenoptimalen Anzahl der Ausprägungen eines Parameters illustriert werden. Zum Antrieb der Pumpen des Treibstoffsystems der Gasturbinen bei einem Kombikraftwerk werden Elektromotoren eingesetzt. Insgesamt wird mit einer Stückzahl von 110 gerechnet. Die Einmalkosten für die Berechnung und Dokumentation einer Ausprägung sind mit 22'000 CHF veranschlagt. Ein Motor mit der maximal benötigten Leistung kommt auf 52'500 CHF, ein solcher mit der minimal benötigten Leistung auf 41'300 CHF zu stehen. Für die Berechnung der variantengetriebenen Einmalkosten wird mit einem Rückgang der Kosten von 20% bei verdoppelter kumulierter Erfahrung gerechnet. Die Anzahl der Varianten hat in diesem Fall keinen Einfluss auf die Losgrösse. Die kostenoptimale Anzahl Ausprägungen des Parameters Motorenleistung ist unter diesen Voraussetzungen gleich fünf (Abb. 4–14).

Dieses Vorgehen zur Bestimmung der kostenoptimalen Anzahl der Ausprägungen darf nicht als mathematisch exakte Lösung des Vielfaltsproblems verstanden werden. Es kann aber einen ersten Anhaltspunkt geben und damit den Entscheidungsprozess unterstützen.

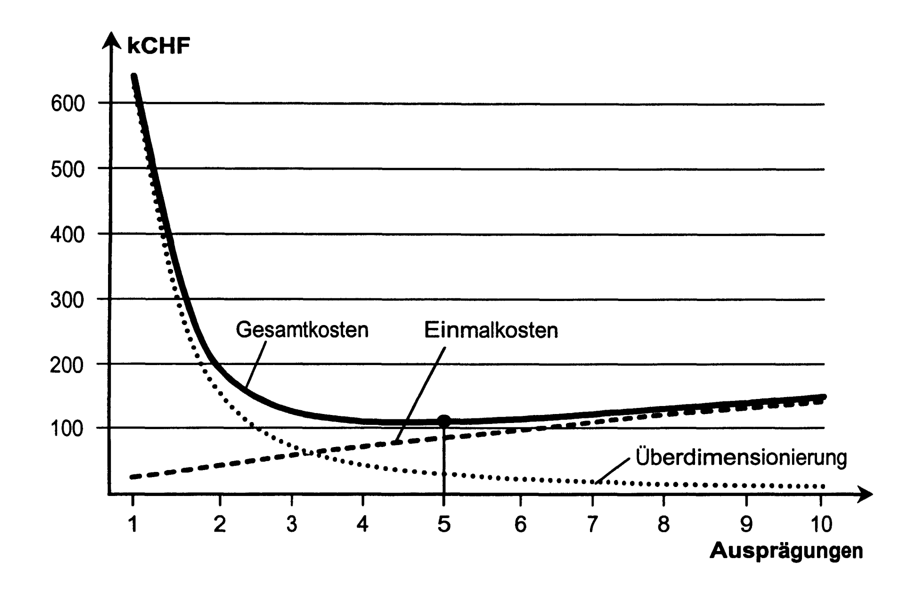


Abb. 4–14: Kostenoptimale Anzahl Ausprägungen am Beispiel Elektromotor[1]

4.1.4.3 Technische Einschränkungen

Die kostenoptimale Anzahl diskreter Werte eines kontinuierlich verlaufenden Parameters kann aufgrund technischer oder marktseitiger Einschränkungen häufig nicht umgesetzt werden.

Technische Einschränkungen können zum Beispiel dann auftreten, wenn das System auf einen bestimmten Arbeitspunkt ausgelegt wird, in dem der Wirkungsgrad optimal ist. Entfernt man sich zu weit von diesem Punkt, so wird aus technischen Gründen eine andere Variante nötig. Dies ist beispielsweise bei Kreiselpumpen der Fall: wenn eine Pumpe für eine Förderleistung von 100 l/s bei einem gegebenen Druck ausgelegt ist, so kann sie nicht sinnvoll bei einem Fördervolumen von 5 l/s eingesetzt werden. In solchen Fällen kann aus technischen Gründen eine Vielfalt nötig werden, die grösser ist als die theoretisch kostenoptimale.

---

[1] Suzue / Kohdate (1990), S. 22, beschreiben qualitativ ein Kostenoptimum der Vielfalt. Dabei werden funktionale Kosten gegen Vielfaltskosten aufgetragen; die Mechanismen sind jedoch dieselben.

Oftmals werden auch Kompromisse eingegangen, um die Werte eines Parameters auf die Normzahlreihe nach DIN 323 auszurichten[1].

Andererseits können auch marktseitige Einschränkungen der minimalen Vielfalt bestehen. Bei einem Regal muss beispielsweise eine Mindestanzahl verschiedener Abstufungen bestehen. Ein Kunde, der ein Regal mit der Höhe 2000 mm sucht, kann üblicherweise nicht mit einem 3000 mm Regal zufriedengestellt werden.

4.1.4.4 Festlegen und Überprüfung der Produktmerkmale

Nachdem Marktanforderungen und technische Einschränkungen bekannt sind und auch Kostenbetrachtungen durchgeführt wurden, werden die Spezifikationen des Produktes unter Berücksichtigung der Vorgaben aus der Vorbereitungsphase der Produktstrukturierung festgelegt.

Die Spezifikation besteht aus einer Tabelle, die alle möglichen Merkmale und Ausprägungen des Produktes enthält. Jede Produktvariante entspricht einer klar definierten Kombination von Merkmalsausprägungen, wobei von jedem Merkmal genau eine Ausprägung gewählt wird. Eine bestimmte Produktvariante kann somit als Pfad in der Tabelle der Merkmale und Ausprägungen eingezeichnet werden (Abb. 4–15).

Merkmale	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4
Höhe	800 mm	1000 mm	1200 mm	1950 mm
Breite	1000 mm	1600 mm	2000 mm	
Tiefe	500 mm	600 mm		
Farbe	RAL 5012	RAL 5019	RAL 3003	NCS S 6502-B
Türtyp	ohne Tür	Flügeltür	Schiebetür	Rolladen

Abb. 4–15: Produktvariante als Pfad in der Merkmalstabelle

[1] Vgl. Wiese / Geisler (1996), Sp. 1901-1902.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass je nach Grad der Interdependenz Einschränkungen in der Kombinierbarkeit zwischen den einzelnen Merkmalsausprägungen bestehen können. In der Tabelle der Merkmalsausprägungen stellt somit nicht jeder Pfad eine gültige Produktvariante dar. Der Grad der Abhängigkeiten zwischen Produktmerkmalen wird einerseits durch bewusste Einschränkungen herbeigeführt, welche keine konstruktiven Konsequenzen bedingen. Andererseits können durch die Art der Realisierung des Produktes Abhängigkeiten entstehen, die sich in der physischen Produktstruktur niederschlagen.

Bei einfachen Produkten mit wenigen Varianten können die Spezifikationen jeder Endproduktvariante festgelegt werden. Ziel hierbei ist, durch geschickte Kombination der Merkmalsausprägungen einen Produktnutzen zu schaffen, der die Summe der Einzelnutzen der Merkmale übersteigt. Bei Produkten mit einer grösseren Anzahl Endvarianten ist dieses Vorgehen zu aufwendig. Vorteilhaft wirkt sich in solchen Fällen aus, wenn das Produkt eine geringe Interdependenz und eine geringe Integration der Elemente aufweist. Endproduktvarianten können dann mit wenigen Einschränkungen der Kombinierbarkeit aus den Produktmerkmalen konfiguriert werden.

Bevor das spezifizierte Produkt zur Entwicklung freigegeben wird, wird das Konzept soweit als möglich geprüft. Auf der Stufe der Merkmale und Ausprägungen bieten sich Konzepttests an. Kunden werden mit dem Produktkonzept in Form von Zeichnungen, Skizzen oder verbalen Beschreibungen konfrontiert. Die Beurteilung bezieht sich nicht auf das physische Produkt, sondern auf eine subjektive Vorstellung des Produkts[1]. Konzepttests werden üblicherweise mit ungefähr hundert Testpersonen durchgeführt[2].

Neben solchen Partialtests, in denen nur die einzelnen Eigenschaften geprüft werden, besteht bei Produkten mit relativ wenigen Merkmalen und Ausprägungen auch die Möglichkeit zu Volltests[3]. In diesem Fall werden alle Merkmale und Ausprägungen verschiedener Produktvarianten geprüft. Mit Hilfe des Conjoint-Measurements kann durch Auswertung der paarweisen Vergleiche der Gesamtnutzen verschiedener Produktvarianten bestimmt werden[4]. Auf diese Weise kann bestimmt werden, welche Produktvarianten einen überdurchschnittlichen Kundennutzen erzeugen. Einschränkend

---

[1] Vgl. Berekoven et al. (1989), S. 159.

[2] Vgl. Hammann / Erichson (1990), S. 172.

[3] Vgl. Meffert (1992), S. 233, sowie Berekoven et al. (1989), S. 161.

[4] Vgl. Laker (1995), S. 18, sowie Kucher / Simon (1987), S. 35.

muss erwähnt werden, dass die Anzahl der zu prüfenden Merkmale nicht grösser als ungefähr fünf sein sollte, um die Testperson nicht zu überfordern[1]. Mit steigender Anzahl der Merkmalsausprägungen nimmt auch die Anzahl der nötigen paarweisen Vergleiche stark zu. Aus diesen Gründen kann dieses Verfahren nur für relativ einfache Produkte eingesetzt werden, oder aber die Produktmerkmale müssen auf die wichtigsten reduziert werden.

Wird bei den Tests festgestellt, dass das Produktkonzept noch Mängel aufweist oder dass einzelne Merkmale noch nicht optimal gestaltet sind, so wird das Produktkonzept überarbeitet. Die Schritte des Festlegens der Merkmale und Ausprägungen sowie der Konzepttests werden im Sinne einer Iteration mehrfach durchlaufen. Sind die Konzepttests hingegen erfolgreich abgeschlossen, so kann das Produkt in die Phase der Produktstrukturierung gehen.

4.2 Produktstrukturierung

Die eigentliche Produktstrukturierung gliedert sich in fünf Arbeitsschritte. Die Erarbeitung der einzelnen Erzeugnisgliederungen kann dabei parallel ablaufen (Abb. 4–16).

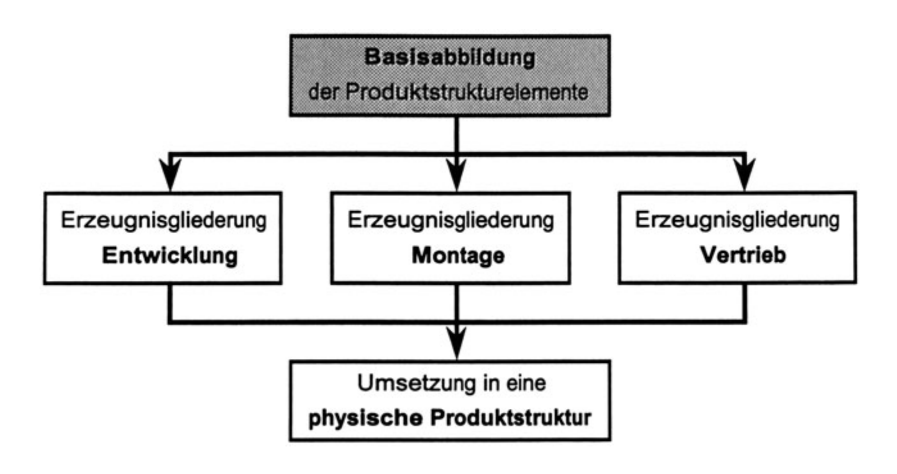


Abb. 4–16: Arbeitsschritte der Produktstrukturierung

---

[1] Vgl. Buggert / Wielpütz (1995), S. 75.

Basierend auf den in der Vorbereitungsphase gewonnenen Erkenntnissen kann die Basisabbildung der Produktstruktur entworfen werden. In weiteren Phasen werden die verschiedenen Gliederungen des Produktes erarbeitet. Um Aufgabenblöcke auf verschiedene Entwicklungsteams verteilen zu können, ist die Definition von teamübergreifenden Schnittstellen notwendig. Bei der Gliederung in Vormontageeinheiten werden das geometrische Layout sowie die montagerelevanten Schnittstellen spezifiziert. Durch Bildung von Verkaufseinheiten können sich weitere Schnittstellenspezifikationen ergeben. In der Phase der physischen Produktstrukturierung müssen die vorher festgelegten Spezifikationen berücksichtigt und unter einen Hut gebracht werden. Freiheitsgrade finden sich bei noch nicht spezifizierten Schnittstellen, sowie in der technischen Umsetzung der Produktmerkmale bei Elementen und Schnittstellen. Abb. 4–17 zeigt diese Zusammenhänge im Überblick.

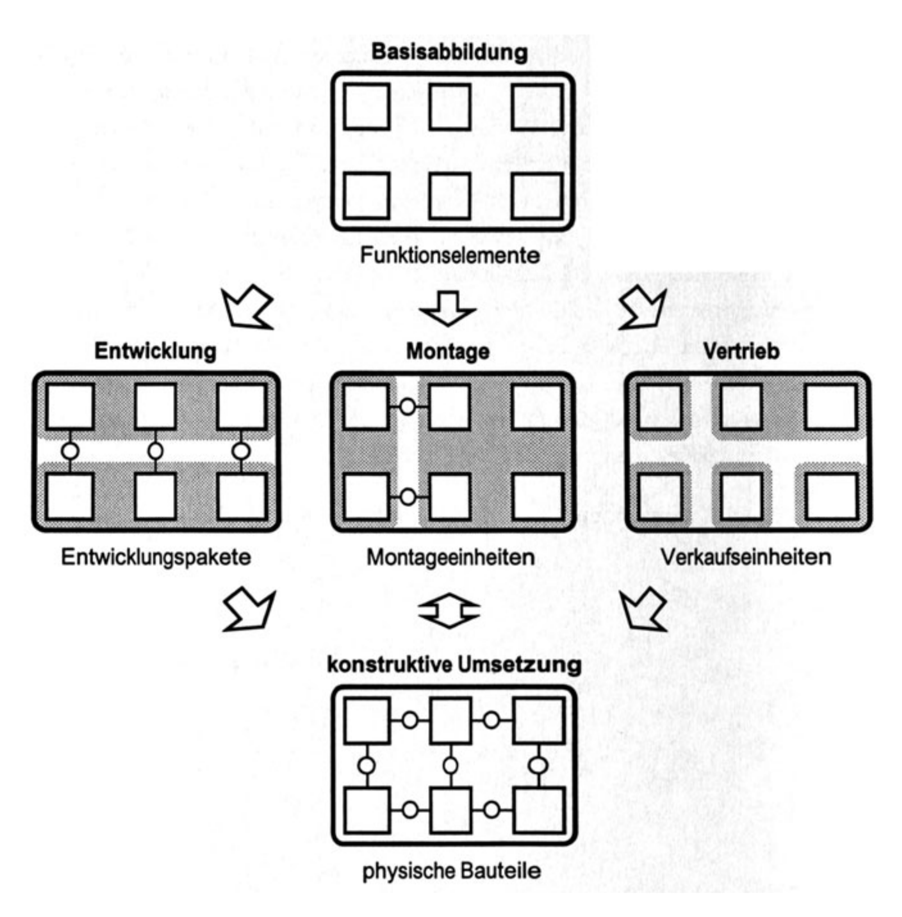


Abb. 4–17: Zusammenhänge bei der Produktstrukturierung

4.2.1 Bestimmen der Basisabbildung der Produktstrukturelemente

Die Ermittlung der Basisabbildung der Produktstrukturelemente bildet die erste Phase der Produktstrukturierung (Abb. 4–18).

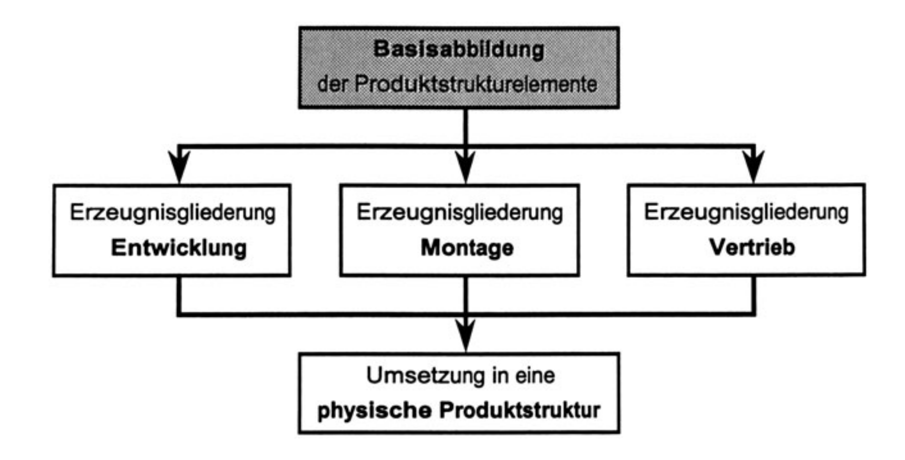


Abb. 4–18: Basisabbildung der Elemente als erste Phase der Strukturierung

Nachdem die marktseitig geforderte Funktionalität des Produktes bestimmt wurde, kann eine grundlegende Beschreibung der Produktstruktur erfolgen. Im Sinne einer Grobstruktur kann eine Darstellung des Produktes durch Funktionsblöcke erfolgen[1]. Eine Methode zur symbolischen Darstellung von Funktionsstrukturen wird durch EHRLENSPIEL vorgeschlagen[2]. In der Praxis hat sich unter anderem auch die Verwendung von Blockschaltbildern bewährt[3].

Diese Funktionsblöcke werden durch die ermittelten Produktmerkmale beschrieben, wobei die einzelnen Merkmalsausprägungen noch nicht unbedingt bekannt sein müssen. Nach den in Kapitel 2.2.3.2.2 beschriebenen Regeln werden diese Funktionsblöcke in Basiselemente überführt (Tab. 4–4). In dieser Phase steht noch nicht fest, wie die Funktionsblöcke technisch realisiert werden. Diese Konkretisierung wird später durch den Konstrukteur im Rahmen der Umsetzung vorgenommen.

Die Basisabbildung der Merkmale bildet die Grundlage für die weitere Gliederung des Produktes für die Ansprüche der verschiedenen Bezugsgruppen im Unternehmen.

---

[1] Vgl. Pahl / Beitz (1997), zitiert nach Erixon (1998), S. 20.

[2] Vgl. Ehrlenspiel (1995), S. 644-660.

[3] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 138.

Kenner	Elementbenennung	Eingesetzt wenn	Abhängig von
E	Ständerrahmen		Tiefe, Regalhöhe
E	Ständerrahmen-Verbindung		Feldbreite
ZE	Seitenwand	mit Seitenwand	Tiefe, Regalhöhe
ZE	Rückwand	mit Rückwand	Feldbreite, Regalhöhe, Feldtyp
ZE	Festrahmen	mit Festrahmen	Feldbreite, Tiefe
ZE	Auszugrahmen	mit Auszugrahmen	Feldbreite, Tiefe, Auszugart
Z	Anfahrschutz	mit Anfahrschutz	
S	Montageanleitung		

Tab. 4–4: Basisabbildung der Elemente am Beispiel eines Regals (Ausschnitt)

4.2.2 Erzeugnisgliederungen für verschiedene Anspruchsgruppen

Die Informationen über die Produktstruktur werden in verschiedensten Bereichen des Unternehmens in unterschiedlicher Form und unterschiedlichem Detailierungsgrad benötigt. In den folgenden Abschnitten wird gezeigt, wie ausgehend von der Basisabbildung der Produktstrukturelemente die Erzeugnisgliederungen für die verschiedenen Anspruchsgruppen erarbeitet werden können, bevor die physische Produktstruktur umgesetzt wird.

Bevor die eigentliche Gliederung des Erzeugnisses erarbeitet wird, sollten zur Schaffung einer Übersicht die Zusammenhänge dargestellt werden. Ein Hilfsmittel zur Vorbereitung der Erzeugnisgliederung in einer frühen Phase von Entwicklungsprojekten ist die METUS-Methode von Daimler-Benz. Die Darstellung mit METUS verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen den Anforderungen verschiedener Bezugsgruppen an die Erzeugnisgliederung. METUS wird unter anderem als Hilfsmittel zur Vorbereitung einer Produktstrukturierung verstanden[1].

Ein Produkt wird, ausgehend von der Produktidee, durch seine Funktionen beschrieben (Abb. 4–19). Diese Sicht repräsentiert Kunden- und Marktanforderungen, die im Hinblick auf eine vertriebsorientierte Erzeugnisgliederung berücksichtigt werden

[1] Vgl. Steinbrecher (1998), S. 499.

müssen. In einer nächsten Stufe werden die Funktionen auf Entwicklungseinheiten verteilt, was eine entwicklungsorientierte Erzeugnisgliederung darstellt. Die Entwicklungseinheiten werden weiter zergliedert in Entwicklungselemente, die auch gleichzeitig die Fertigungselemente bilden. Diese Elemente entsprechen den Produktstrukturelementen. Werden diese Elemente nach den in Kapitel 2.2.3.2.2 dargestellten Regeln in Basiselemente überführt, so ist der Aufwand für ihre Beschreibung minimal. Die rechte Hälfte des Bildes steht stellvertretend für die montageorientierte Erzeugnisgliederung. Es werden dabei mehrere Ebenen der Montage unterschieden, die bis zur Fertigstellung des Produktes notwendig sind.

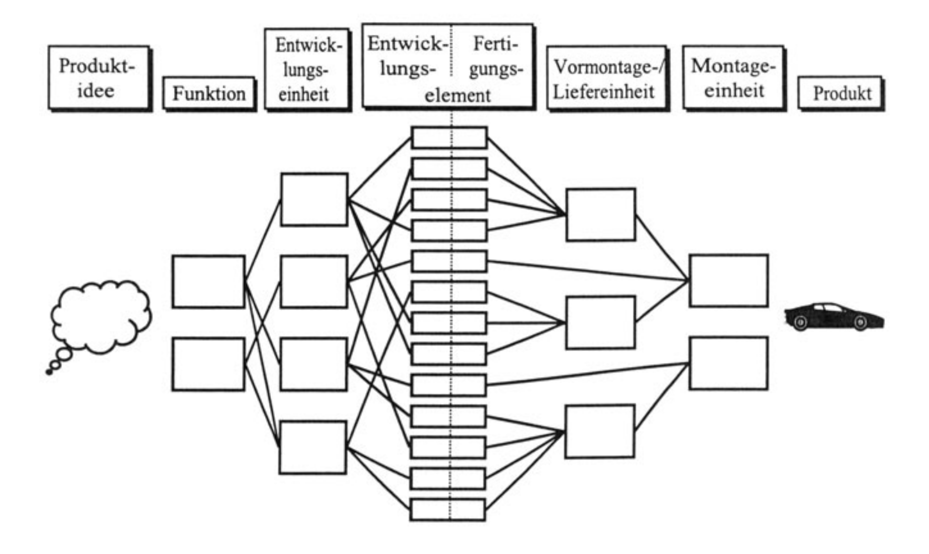


Abb. 4–19: Darstellung eines Produktes nach der METUS-Methode[1]

METUS bildet nur die in einer frühen Phase zur Erzeugnisgliederung notwendigen Teile der Produktstruktur ab. Dies umfasst insbesondere die Elemente, aus denen ein Endprodukt besteht. Die Varianten der einzelnen Elemente werden, ebenso wie die Schnittstellen zwischen den Elementen, nicht berücksichtigt. Die Produktstruktur-

[1] Abbildung entnommen und leicht geändert aus Steinbrecher (1998), S. 499.

information wird also nur lückenhaft abgebildet. Bei der Durchführung von Produktstrukturierungen dient METUS als Vorbereitung für den Einsatz weiterer Methoden[1].

4.2.3 Erzeugnisgliederung in der Entwicklung

Ein weiterer Schritt in der Produktstrukturierung ist die Gliederung des zu entwickelnden Produktes für die Ansprüche der Entwickler (Abb. 4–20).

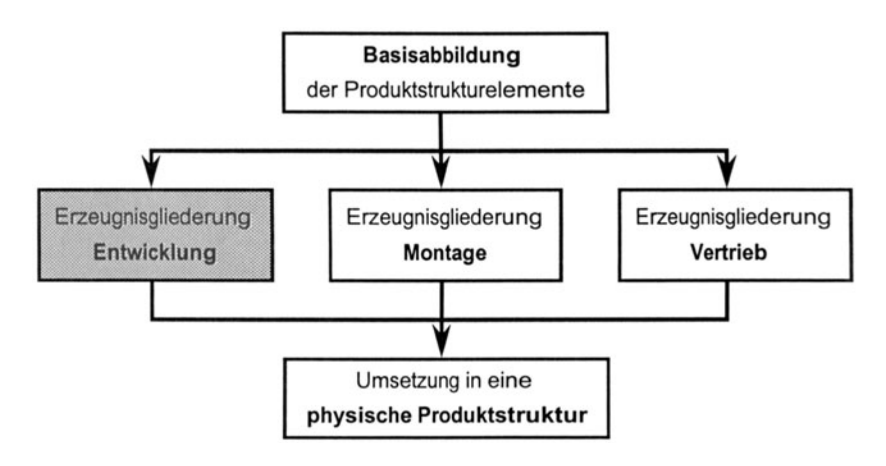


Abb. 4–20: Erzeugnisgliederung für die Belange der Entwicklung

Bevor ein Entwicklungsprojekt in die Umsetzung gehen kann, müssen insbesondere bei komplexeren Produkten die Entwicklungsumfänge auf verschiedene Entwicklungsteams aufgeteilt werden. Ziel ist es, eine verkürzte Entwicklungszeit durch paralleles Arbeiten zu erreichen. Ausserdem sollen der Abspracheaufwand zwischen den Teams und die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Teilaufgaben reduziert werden. Durch die vorgängige Klärung der Berührungspunkte zwischen den Teams ergeben sich Anforderungen an die betroffenen Schnittstellen des physischen Produktes.

---

[1] In dem von Steinbrecher (1998), S. 499-500 beschriebenen Projekt zur Modularisierung von Elektrolokomotiven bei der Firma ADtranz wurde unter Mitarbeit des Verfassers unter anderem auch die Variantenbaummethode eingesetzt.

EPPINGER et al. empfehlen zur Gliederung der Produktentwicklung ein mehrstufiges Verfahren[1]. An dieser Stelle soll das etwas vereinfachte Vorgehen vorgestellt werden, wie es durch BALDWIN / CLARK vorgeschlagen wird[2].

In der Entwicklung wird das Produkt primär nach technischen Parametern gegliedert[3]. In einem ersten Schritt wird das Produkt durch diese sogenannten Design Parameter vollständig und eindeutig beschrieben[4]. Dies bedeutet, dass die Beschreibung nicht nur die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten umfasst, sondern alle Informationen, die zur Herstellung des Produktes benötigt werden. Die Design Parameter können gegenseitige Abhängigkeiten aufweisen, was durch eine Design-Struktur-Matrix[5] dargestellt werden kann. Diese Matrix gibt Antwort auf die Frage: "Welche anderen Parameter (in den Spalten) müssten eventuell geändert werden, wenn aus einem Grund einer der Parameter (in den Zeilen) geändert wird?". In Abb. 4–21 ist ein Teil der Design-Struktur-Matrix einer Kaffeetasse dargestellt. Wenn in diesem Beispiel die Höhe der Tasse geändert wird, beeinflusst dies den Herstellprozess, den Gefässdurchmesser, die Masse, sowie die Grifform.

Analog zur Design-Struktur-Matrix kann eine zweite Matrix aufgestellt werden, welche die Aufgaben, die zur Entwicklung des Produktes notwendig sind, enthält. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung dann abgeschlossen ist, wenn für jeden der Design Parameter ein Wert gewählt worden ist. Die Wahl jedes Parameters entspricht somit einer Aufgabe. Diese neue Matrix heisst Aufgaben-Struktur-Matrix (Task Structure Matrix). Die Aufgabenstruktur und die Designstruktur sind eng miteinander verwandt[1]. Aus der Aufgaben-Struktur-Matrix wird ersichtlich, welche Aufgaben voneinander abhängen und wo Absprachen notwendig sind, um die verschiedenen Aufgaben zu erledigen. Der Entwicklungsprozess entspricht einer iterativen Änderung der Design Parameter. Der kreative Teil der Entwicklung besteht darin, in dem durch die Parameter aufgespannten Lösungsraum unter Berücksichtigung der gegenseitigen Abhängigkeiten die bestmögliche Konfiguration zu finden. Dies

---

[1] Vgl. Eppinger et al. (1994), S. 1-13.

[2] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–14 ff. Für weitere Verfahren zur Aufgabenstrukturierung vgl. Ehrlenspiel (1995), S. 329-345.

[3] Diese Gliederung entspricht der *behavioral view* im Konzept von Tseng / Jiao (1998), S. 4.

[4] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–3.

[5] Vgl. Steward (1981), S. 71-74.

entspricht grafisch dem Abarbeiten eines Pfades entlang der verschiedenen Kreuze in der Aufgaben-Struktur-Matrix. Der Pfad wird solange durchlaufen, bis die beste Lösung gefunden ist[2]. Dieser Prozess ist einerseits sehr kreativ, andererseits erfordert er eine grosse Erfahrung des Entwicklers, um in nützlicher Frist zum gewünschten Resultat zu gelangen.

Design Parameter	von \ auf	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Material	1	•	x	x			x	x	x		x
Toleranz	2	x	•	x			x	x	x	x	x
Herstellprozess	3		x	•			x	x	x	x	x
Höhe	4			x	•	x			x		x
Gefässdurchmesser	5		x	x	x	•	x	x	x		
Wandstärke	6	x	x	x	x	x	•	x	x		
Art der Wand	7	x	x	x		x	x	•	x	x	
Masse	8	x		x	x	x	x	x	•	x	
Griffmaterial	9	x	x	x				x	x	•	x
Grifform	10	x	x	x	x					x	•

Abb. 4–21: Teil einer Design-Struktur-Matrix für eine Kaffeetasse[3]

Im Verlaufe des Entwicklungsprozesses von komplexeren Produkten muss häufig die Gesamtheit der zu entwickelnden Produktumfänge auf verschiedene Entwicklungsteams verteilt werden. Einerseits weil sich Spezialisten der verschiedenen Aufgaben annehmen müssen, andererseits um Entwicklungszeit einzusparen. Aus Sicht der Entwicklung stellt sich daher die Frage, wie das Produkt gegliedert werden muss, damit möglichst wenige Absprachen zwischen den Teams nötig werden und gleichzeitig der Prozess des "kreativen Kreisens" in der Matrix nicht zu stark eingeschränkt wird.

[1] Baldwin / Clark (1999), S. 2–21 sprechen in diesem Zusammenhang von einem fundamentalen Isomorphismus.

[2] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–26-2–28.

[3] Quelle: Baldwin / Clark (1999), S. 2–16.

Zur Beantwortung dieser Frage wird die Aufgaben-Struktur-Matrix genauer untersucht. Die verschiedenen Anordnungsmuster der Kreuze lassen Rückschlüsse auf die Art der Aufgabenstruktur zu.

Ein Extremfall liegt dann vor, wenn jede Aufgabe vom Resultat der vorangehenden Aufgabe abhängig ist. Die Abfolge der Aufgaben ist in diesem Fall streng hierarchisch, beziehungsweise streng sequentiell (Abb. 4–22a). Ein anderer Extremfall ist die unabhängige Blockstruktur, bei der verschiedene Teilaufgaben zu Aufgabenblöcken zusammengefasst werden können, die untereinander völlig unabhängig sind. Innerhalb eines solchen Blockes sind Abhängigkeiten weiterhin erlaubt, nur gegenüber anderen Aufgabenblöcken dürfen keine Abhängigkeiten bestehen (Abb. 4–22b). Abgeleitet von diesen grundsätzlichen Aufgabenstrukturen finden sich auch Mischformen. Bei der hierarchischen Block-Aufgabenstruktur (Abb. 4–22c) bestehen Abhängigkeiten von Aufgabenböcken nur in einer Richtung: Der Block mit den Aufgaben 5 bis 10 kann erst erledigt werden, wenn die Resultate aus dem Aufgabenblock 1 bis 4 feststehen. Eine weitere Mischform bildet die hybride Aufgabenstruktur, die in vielen Variationen auftreten kann (Abb. 4–22d). Die hybriden Aufgabenstrukturen weisen ein gemeinsames Muster auf: Ein Aufgabenblock liefert Eingangsgrössen für einen hierarchischen Prozess[1].

Die Anzahl der nötigen Absprachen kann sowohl durch hierarchische, als auch durch Blockgliederung der Aufgaben tief gehalten werden. Bei der hierarchischen Gliederung ist jedoch ein paralleles Arbeiten nicht möglich. Die bevorzugte Aufgabengliederung ist deshalb die Blockstruktur[2]. Diese Blockstruktur wird durch Modularisierung der Entwicklungsaufgaben erreicht[3].

Modularisierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass gewisse übergeordnete Entscheide vorweg genommen werden, um die Abhängigkeiten zwischen den Aufgabenblöcken zu vermindern. Dies geschieht durch Festlegen von übergeordneten Gestaltungsregeln, die für alle Entwickler verbindlich sind, sowie durch Festlegen und Einfrieren der Schnittstellen zwischen Aufgabenblöcken. Jedes Team braucht sich anschliessend nur noch um die Abhängigkeiten zwischen den Parametern innerhalb der

---

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–29-2–32.

[2] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–41.

[3] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–33.

eigenen Teilaufgabe zu kümmern. Die Parameter des Aufgabenblocks eines Teams sind für die anderen Entwickler unsichtbar.

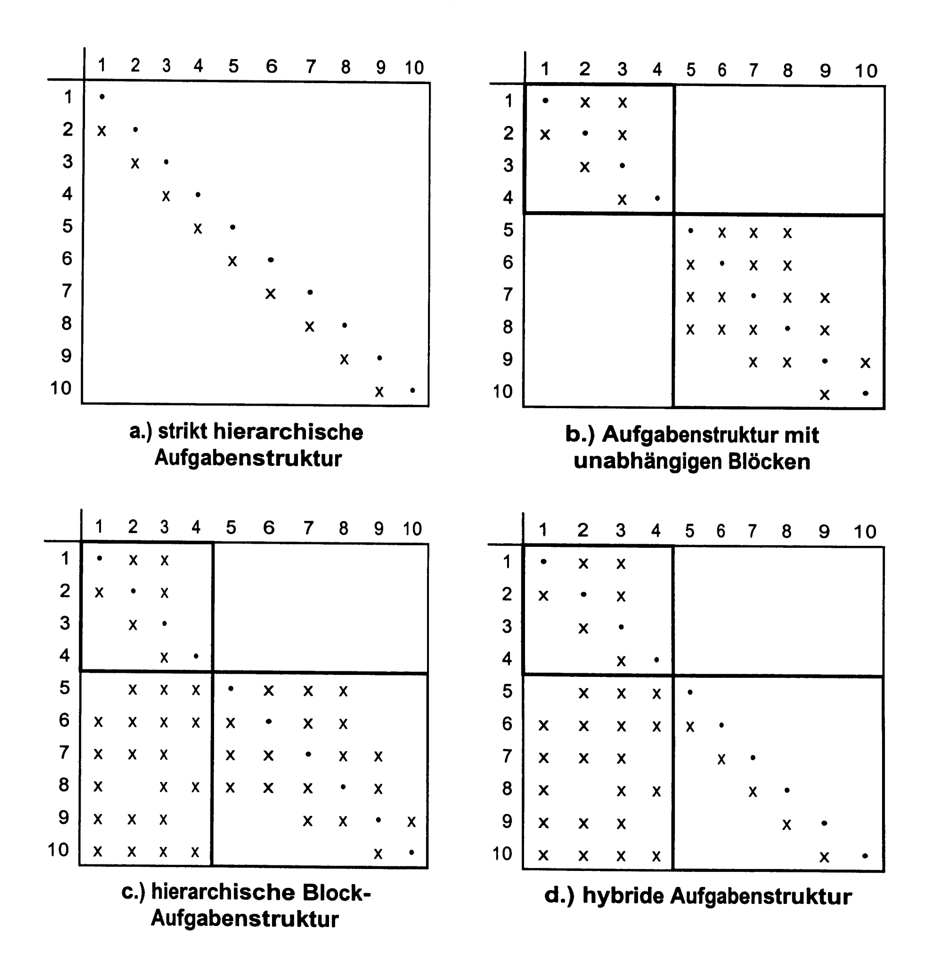


Abb. 4–22: Grundlegende Aufgabenstrukturen[1]

Gestaltungsregeln sind Parameter, deren Festlegung andere Parameter des gesamten Produkts beeinflussen kann, die selbst jedoch durch keine anderen Parameter beeinflusst werden. Das Festlegen solcher Gestaltungsregeln erfordert vom Entscheidungs-

[1] Quelle: Baldwin / Clark (1999), S. 2–30.

gremium eine tiefe Kenntnis der Materie, weil übergeordnete Entscheide eine grosse Tragweite haben und im nachhinein nur noch mit grossen Kostenfolgen umgestossen werden können.

In der Praxis tritt häufig der Fall ein, dass nicht alle Abhängigkeiten zwischen den Parametern im voraus bekannt sind. Dies führt dazu, dass am Ende des Entwicklungsprozesses eine Phase der Systemintegration und des Systemtests folgt[1]. Ein modularer Entwicklungsprozess besteht also aus den drei folgenden Phasen:

- Erstellen der Gestaltungsregeln
- Parallele Ausführung der unabhängigen Arbeitsblöcke
- Systemintegration und Testphase

Die Gestaltungsregeln eines Produktes können hierarchisch dargestellt werden. Zuoberst stehen die übergeordneten Gestaltungsregeln, welche für sämtliche Module Gültigkeit haben und die deshalb auch sichtbare Gestaltungsregeln genannt werden. Eine Stufe darunter stehen Schnittstellendefinitionen, die für die jeweils beteiligten Module gültig und sichtbar sind. Diejenigen Regeln, die lediglich innerhalb eines Moduls gelten, heissen versteckte Gestaltungsregeln. Diese Entwicklungshierarchie ist in Abb. 4–23 dargestellt.

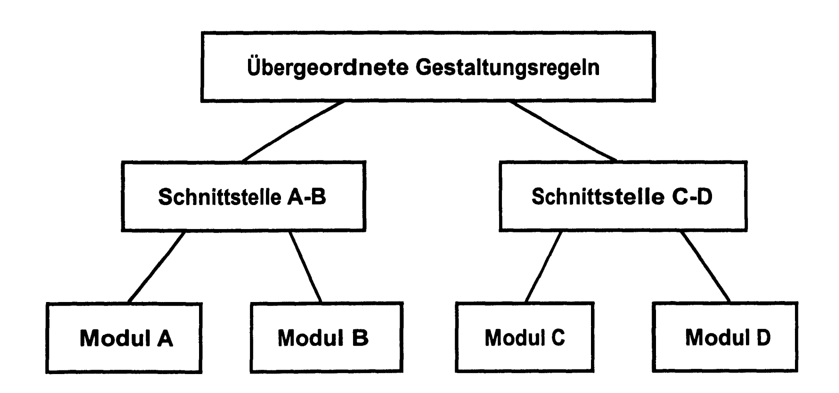


Abb. 4–23: Beispiel einer Entwicklungshierarchie mit drei Stufen

[1] Vgl. Baldwin / Clark (1999), S. 2–41.

Die Darstellung als Entwicklungshierarchie ist eine Ergänzung zur Design- und zur Aufgaben-Struktur-Matrix, um die Zusammenhänge zwischen sichtbaren und versteckten Gestaltungsregeln zu verdeutlichen. Wenn die einzelnen Module selbst auch schon modulare Gebilde darstellen, kann die Anzahl der Hierarchiestufen auch grösser als drei sein[1].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein modularisierter Entwicklungsprozess die Grundlage für ein paralleles Entwickeln darstellt[2]. Je weniger der Entwicklungsprozess dieser modularen Struktur entspricht, desto mehr Absprachen und Wiederholungen von Entwicklungsschritten werden nötig. Dadurch wird der Entwicklungsprozess verkompliziert, verlängert und verteuert.

Grösster Nachteil des Konzeptes ist, dass das Produkt vollständig durch Design Parameter beschrieben werden muss, was sehr aufwendig ist. Bereits zur Beschreibung einer einfachen Tasse werden deutlich mehr als zehn Parameter benötigt. Es stellt sich daher die Frage, ob eine modulare Entwicklungsstruktur auch ohne diese vollständige Beschreibung des Produktes erreicht werden kann.

Zur Beantwortung dieser Frage können die Design Parameter, wie sie von BALDWIN / CLARK beschrieben werden, typisiert werden. Die Typisierung wird über zwei Eigenschaften der Design Parameter vorgenommen, nämlich deren Einfluss auf die Produktevielfalt und deren Gültigkeitsbereich (Abb. 4–24). Der Stift einer Stecknadel besteht beispielsweise immer aus Stahl. Diese Information ist zwar zur Herstellung der Nadel notwendig, sie ist aber nicht variantentreibend und betrifft nur das Element Stift. Der Stift der Nadel ist in verschiedenen Längen erhältlich, was zu Varianten führt, aber für keine anderen Elemente massgebend ist. Um Stift und Kopf einfacher zusammenfügen zu können, ist der Stift am hinteren Ende angefast. Dies ist für die Schnittstelle entscheidend, hat aber keine zusätzlichen Varianten zur Folge. Der Durchmesser des Stifts schliesslich ist sowohl für ein anderes Element (den Kopf), als auch für die Variantenzahl wesentlich.

---

[1] Vgl. Wüpping (1993), S. 18-20.

[2] Vgl. Eversheim et al. (1995), S. 29 ff.

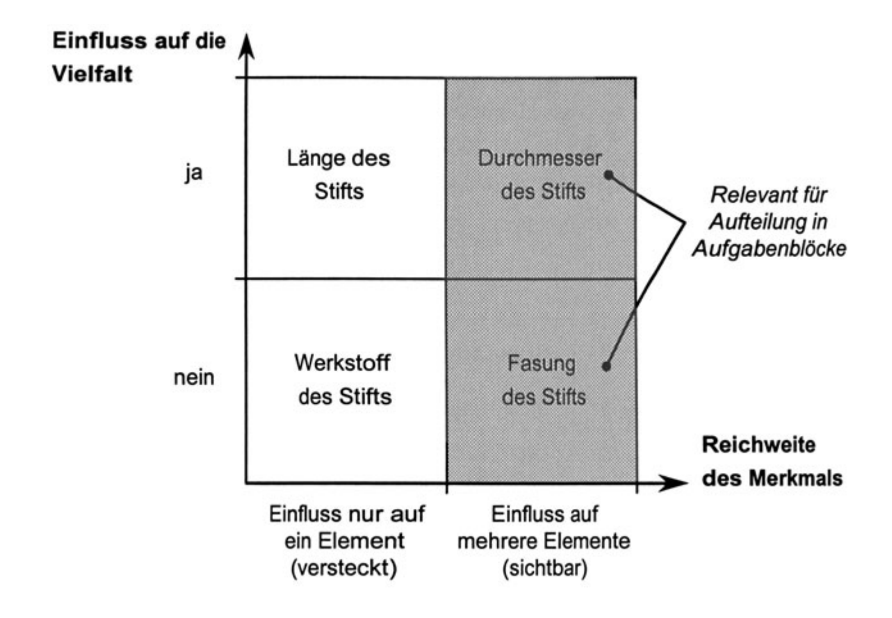


Abb. 4–24: Typisierung der Designparameter am Beispiel Stecknadel

Für die Bildung von modularen Aufgabenblöcken müssen diejenigen Parameter berücksichtigt werden, welche einen Einfluss auf mehrere Elemente ausüben. Alle weiteren Parameter, die zur vollständigen Beschreibung des Produktes benötigt werden, sind für die Bildung einer modularen Entwicklungsstruktur belanglos. Sie werden ausschliesslich von einem Entwickler benötigt und verursachen daher keinen Abstimmungsbedarf.

Durch diese Erzeugnisgliederung sind die Abhängigkeiten zwischen den Teilaufgaben beschrieben. In der Praxis tritt jedoch noch eine weitere Frage in den Vordergrund. Insbesondere bei entwicklungsintensiven Produkten wie Automobilen, Lokomotiven, Flugzeugen, Kraftwerken oder ähnlich komplexen Erzeugnissen stellt sich die Frage, in welcher Reihenfolge die einzelnen Varianten entwickelt werden sollen. In den seltensten Fällen reicht die Entwicklungskapazität aus, um sämtliche Entwicklungen parallel durchzuführen. Dabei zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Produkten mit Seriencharakter und solchen, die kundenspezifische Anpassentwicklungen enthalten.

Bei Produkten mit Seriencharakter kann basierend auf Marktuntersuchungen eine Priorisierung der Entwicklungsumfänge erreicht werden. Im Gegensatz dazu lassen sich zum Beispiel im Anlagenbau solche Voraussagen auf Stufe Endprodukt nur schwer treffen, weil pro Kunde eine neue Produktvariante entsteht. Zudem lässt sich die Reihenfolge und Wahrscheinlichkeit von Auftragseingängen schlecht ermitteln. Als Ausweg aus diesem Problem bietet sich eine Priorisierung auf Stufe der Hauptmodule an.

Standard	Standard-Option	Option
• bevorzugte Variante	• mögliche Variante	• Speziallösung
• grosses Marktpotential	• geringes Marktpotential	• keine Projekte erwartet
• Basisentwicklung	• Abwandlung der Basisentwicklung	• Kundenspezifische Sonderentwicklung
• geringste Kosten	• erhöhte Kosten	• hohe Kosten
• in der Produktstruktur vorgeplant	• in der Produktstruktur vorgeplant	• in der Produktstruktur nicht vorgeplant

Decken mindestens 80% des Marktvolumens ab

Abb. 4–25: Priorisierung der Entwicklungsumfänge der Anlagenbau AG

Die Anlagenbau AG, ein weltweit führender Konzern im Bereich Energietechnik, verwendet hierzu ein dreistufiges Verfahren. Standard-Module sind die zuerst zu entwickelnden Module. Standard bedeutet in diesem Zusammenhang, dass diese Modulvarianten ein grosses Marktpotential aufweisen. Sie werden unabhängig von Kundenaufträgen entwickelt. Bezogen auf den Vertrieb bedeutet dies, dass diese Standardvarianten bevorzugt und zu einem entsprechenden Preis angeboten werden. Modulvarianten mit nächst tieferer Priorität werden als Standard-Option bezeichnet. Standard-Option-Varianten werden vorgeplant und bei der Strukturierung des Produktes berücksichtigt. Eine Entwicklung einer solchen Modulvariante erfolgt jedoch nur im Rahmen eines Kundenauftrags und mit einer Anpassung des Preises. Ist die Variante einmal entwickelt, so wird sie bezogen auf den Vertrieb wie eine Standard-

variante behandelt. Standard und Standard-Option-Varianten sollen mindestens 80% des Marktvolumens abdecken. Die letzte Kategorie bilden die Optionsvarianten. Optionen stellen absolut kundenspezifische Entwicklungen dar, für die ausserhalb des betreffenden Projektes kein Marktpotential besteht. Sie sind bei der Strukturierung des Produktes nicht berücksichtigt worden, was zu entsprechend hohen Anpasskosten zu Lasten des Kunden führt. Vertriebsseitig sind Optionen wenn immer möglich zu vermeiden und durch Standard- oder Standard-Option-Lösungen abzudecken. Abb. 4–25 zeigt zusammenfassend die Eigenschaften der drei Kategorien.

4.2.4 Erzeugnisgliederung in Fertigung und Montage

Ein weiterer Schritt der Produktstrukturierung bildet die Gliederung des Produktes für die Ansprüche der Fertigung und der Montage (Abb. 4–26).

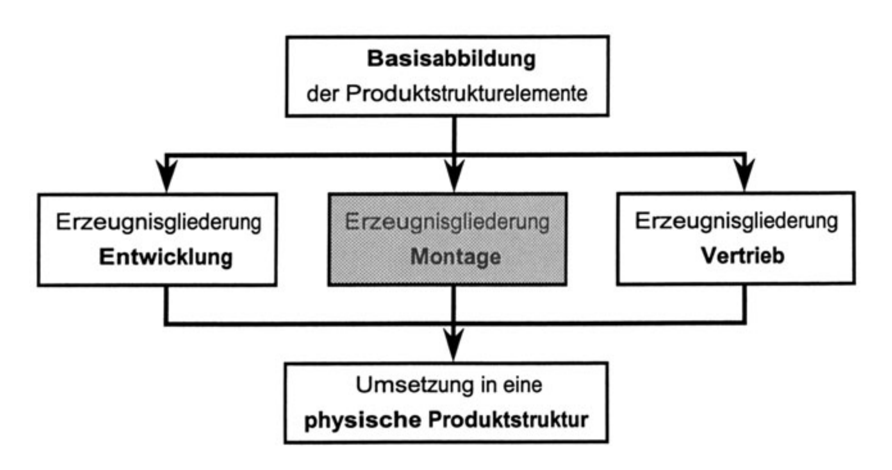


Abb. 4–26: Bildung der montageorientierten Gliederung

Für die Herstellung des Produktes muss die Produktstruktur nach den Bedürfnissen von Fertigung und Montage abgebildet werden[1]. Dabei geht es sowohl um die Gliederung der Informationen, als auch um die Bildung von Baugruppen des physischen Produktes. Die produktionsbezogenen Produktinformationen werden in Zeichnungen,

[1] Diese Gliederung entspricht der *structural view* im Konzept von Tseng / Jiao (1998), S. 4.

Stücklisten und Arbeitsplänen abgebildet. Ziele dieser Erzeugnisgliederung sind die Ordnung und Reduzierung der notwendigen Produktionsinformationen, sowie die Vereinfachung der Informationsverarbeitung[1]. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird das Produkt in Haupt- und Untergruppen bis hin zu Einzelteilen gegliedert[2]. Diese Gliederung basiert nicht auf der Basisabbildung der Elemente, sondern ist auf einer tieferen Aggregationsstufe anzusiedeln. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, diese Gliederung grafisch darzustellen (Abb. 4–27).

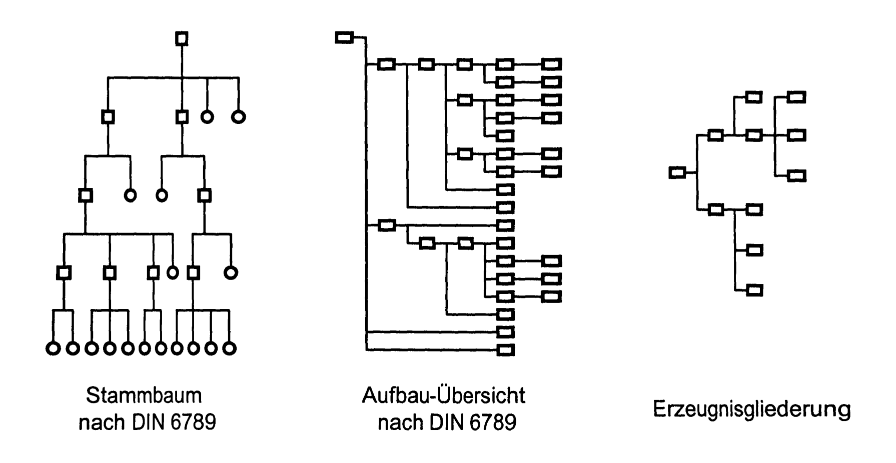


Abb. 4–27: Darstellungsformen der produktionsbezogenen Gliederung[3]

Der Stammbaum zeigt den Aufbau bis auf Stufe Einzelteil, während die Aufbauübersicht zusätzlich die Stufe Rohmaterial enthält. In der industriellen Praxis hat sich eine vereinfachte Form entwickelt, die sogenannte Erzeugnisgliederung[4]. Diese reicht nur bis zur Stufe Baugruppe und zu termin- oder wertbestimmenden Einzelteilen.

Traditionell werden diese Gliederungen zur Erstellung einer Rangfolge der Stücklisten, Zeichnungen und Arbeitspläne, sowie der Produktdokumentation für den Kunden

---

[1] Vgl. Eversheim (1990 a), S. 119.

[2] Vgl. Wiendahl (1989), S. 99.

[3] Quelle: Wiendahl (1989), S. 100. Weitergehende Informationen zur Erzeugnisgliederung finden sich zum Beispiel bei Berner (1988) oder bei Eversheim / Krause (1996), S. 7–45-7–52.

[4] Die hier erwähnte Erzeugnisgliederung entspricht nicht der Erzeugnisgliederung, wie sie in Kapitel 2.1.1.3 definiert wurde, sondern stellt nur eine mögliche Variante derselben dar.

eingesetzt. Durch die Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung sind heute aber auch andere Strukturierungen der Dokumentation verbreitet. Die einzelnen Dokumente der Dokumentation werden elektronisch gespeichert und durch Hyperlinks netzartig miteinander verbunden. So kann dasselbe Dokument zum Beispiel sowohl in einer Betriebsanleitung, als auch in einer Wartungsvorschrift vorkommen, ohne dass es physisch mehrfach existieren muss.

Ziel der montageorientierten Gliederung ist die Bildung von Baugruppen, die unabhängig voneinander vormontiert werden können, um den Montageprozess so kurz und einfach wie möglich zu gestalten. Für den betrieblichen Ablauf stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien diese Gliederung gebildet werden soll. Anders als bei der Gliederung für die Entwicklung treten nun fertigungsorganisatorische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Die Durchlaufzeit des Produktes in der Montage soll möglichst gering sein, um Zinskosten in dieser späten Wertschöpfungsstufe tief zu halten. Dies wird einerseits erreicht, indem gezielt Montageoperationen aus der Endmontage in Vormontageschritte umgelagert werden. Andererseits werden die Vormontageeinheiten so abgegrenzt, dass eine möglichst weitgehende Vorprüfbarkeit der Vormontageeinheiten erreicht wird. Grundgedanke dieses Konzepts ist es, die Inbetriebsetzung des Produktes möglichst einfach und kurz zu halten, und dem Plug-and-Play-Konzept möglichst nahe zu kommen. Im weiteren wird versucht, durch geschickte Wahl der Montagereihenfolge Wechsel in der Montagelinie zu vermeiden.

In der Literatur werden verschiedene Ansätze beschrieben, wie eine montageorientierte Erzeugnisgliederung erreicht werden kann[1]. UNGEHEUER unterscheidet drei Möglichkeiten, wie Baugruppen montageorientiert gebildet werden können.

Grundlage der *deterministischen* Methode ist die Annahme, dass bei einem bestehenden Produkt montageorientierte Baugruppen erkannt oder bestimmt werden können. Ausgehend von der Betrachtung des Gesamterzeugnisses werden Hauptbaugruppen gebildet und diese weiter in Unterbaugruppen gegliedert. Ausgangspunkt zur Bildung dieser Baugruppen können Grossteile, Anschlussflächen oder auch Achsen von Relativbewegungen innerhalb des Produkts sein. Den so gebildeten Baugruppen werden in einer Detaillierungsphase Einzelteile und Verbindungselemente mit dem Ziel zugeordnet, vormontierbare und prüfbare Baugruppen zu erzeugen[2].

---

[1] So zum Beispiel Ungeheuer (1986), Dilling (1979), Dahl (1990).

[2] Vgl. Ungeheuer (1986), S. 70-73.

Bei der *synthetischen* Methode der Baugruppenabgrenzung wird ein bestehendes Produkt durch Nachvollziehen des Montageprozesses Teil für Teil untersucht. Entsprechend dem Montageablauf werden unter Zuhilfenahme von Konstruktionszeichnungen und Stücklisten die Baugruppen zusammengesetzt. Der Aufwand ist aufgrund des hohen Detaillierungsgrades verglichen mit der deterministischen Methode relativ hoch[1].

Diese beiden Methoden weisen verschiedene Nachteile auf. Die Ergebnisse der deterministischen Methode erweisen sich häufig als zu grob, diejenigen der synthetischen sind mit einem zu hohen Aufwand verbunden. Durch ein stufenweises Vorgehen kann der notwendige Detaillierungsgrad bei vertretbarem Aufwand erreicht werden. Diese Kombination der beiden Methoden wird vereinfachend *analytische* Methode genannt. In einem ersten Schritt werden in sich geschlossene Baueinheiten innerhalb des Produktes gesucht und abgegrenzt. Die Baugruppen, aus denen die Baueinheiten bestehen werden auf Vormontierbarkeit, Vorprüfbarkeit und Austauschbarkeit untersucht. Im Anschluss an diese Schritte wird der bisher noch nicht zugeordnete Rest des Produktes untersucht. Dieser Rest wird in Kleinstteile zerlegt, und anschliessend anhand von Montagefolgen in montagefähige Baugruppen zusammengefasst. In der Folge wird die Montagereihenfolge ermittelt und die Baugruppen werden zur Erzeugnisgliederung zusammengefügt[2].

Weitere Kriterien zur Abgrenzung von Baugruppen werden durch ERIXON vorgeschlagen. Er identifiziert sogenannte Modularitätstreiber, welche die Begründung liefern können, weshalb eine gewisse Funktion in ein eigenes Modul gegliedert werden soll[3]. Solche Gründe sind geplante Änderungen oder Erneuerungen gewisser Komponenten, die Verwendung von Gleichteilen oder die Portierung bestehender Komponenten, die Organisation der Montage, der Wunsch nach Vorprüfbarkeit von Modulen, die Schaffung unabhängiger Entwicklungsumfänge, Unterhalt und Wartbarkeit, sowie Recycling[4].

Die montageorientierte Gliederung umfasst auch bereits ein geometrisches Groblayout des Produktes. Die Anforderungen an die räumliche Anordnung der Baugruppen, die

---

[1] Vgl. Ungeheuer (1986), S. 73-74.

[2] Vgl. Ungeheuer (1985), S. 75-79.

[3] Vgl. Erixon (1998), S. 72 ff., sowie Kapitel 3.2.5.

[4] Vgl. Erixon (1998), S. 78.

sich aus der Montage ergeben, müssen bei der Umsetzung in die physische Produktstruktur berücksichtigt werden.

Nachdem die montageorientierte Erzeugnisgliederung erstellt ist, können die Anforderungen an die Schnittstellen zwischen den Baugruppen definiert werden. Ihnen bekommt besondere Bedeutung zu, um möglichst kurze Endmontagezeiten zu erreichen. Diese Schnittstellenbeschreibungen erfassen nur einen Teil aller Schnittstellen, nämlich diejenigen, an die durch den Montageprozess besondere Anforderungen entstehen. Sie dienen dem Entwickler in Ergänzung zum Pflichtenheft als Vorgabe zur Umsetzung. Die Schnittstellenbeschreibung muss alle relevanten Anforderungen an die Schnittstellen enthalten, insbesondere auch Angaben darüber, ob die Schnittstelle lösbar sein muss oder nicht. Hingegen sollte in dieser Phase wo möglich darauf verzichtet werden, die technische Lösung zur Umsetzung der Schnittstellenanforderungen zu beschreiben. Dies deshalb, weil neben Montagegesichtspunkten noch andere Aspekte zu berücksichtigen sind, die erst in der Phase der Umsetzung in eine physische Produktstruktur hinreichend bekannt sind.

4.2.5 Erzeugnisgliederung für den Vertrieb

Das Erarbeiten der Erzeugnisgliederung für den Vertrieb bildet einen weiteren Schritt im Prozess der Produktstrukturierung (Abb. 4–28).

Für die Belange des Vertriebs wird das Produkt in Verkaufseinheiten gegliedert. Die Verkaufseinheiten sind die kleinsten, vom Kunden einzeln bestellbaren Einheiten und bilden die Basis für die Schaffung der Vertriebsdokumentation und von Katalogen. Die Erzeugnisgliederung in Verkaufseinheiten wird ausgerichtet auf möglichst einfache Vertriebsprozesse. Dies beinhaltet eine grösstmögliche Kundenbezogenheit bei möglichst geringen Kosten, sowie eine angemessene Unterstützung für das produktbezogene Controlling.

Bei der Bildung von Verkaufseinheiten ist ausserdem der Ersatzteilproblematik besonderes Augenmerk zu schenken. Oftmals werden Ersatzteile benötigt, welche auf tieferen Auflösungsstufen als der Verkaufseinheitenebene angesiedelt sind. Hier muss eine Möglichkit geschaffen werden, auch solche Teile zu bestellen.

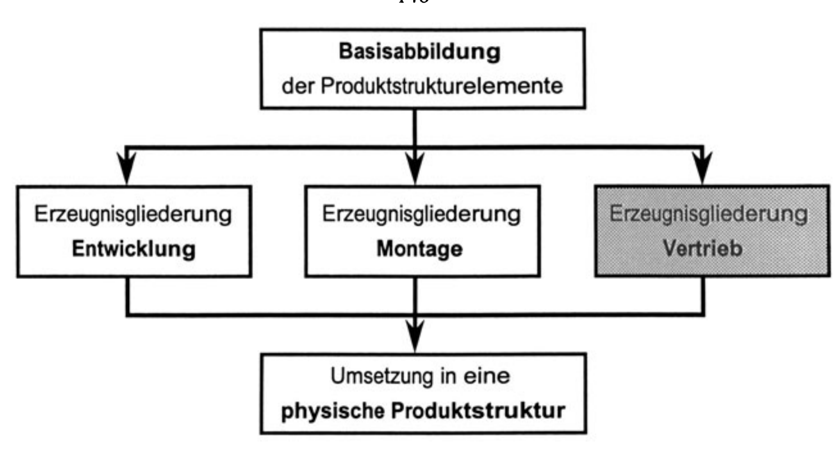


Abb. 4–28: Erzeugnisgliederung für den Vertrieb

Eine Verkaufseinheit kann ein Element im Sinne der Produktstruktur sein. In vielen Fällen werden aber auch mehrere Elemente zu Verkaufseinheiten zusammengefasst. Im Vordergrund stehen nicht mehr technische oder formallogische Zusammenhänge, sondern Aspekte der einfachen Handhabbarkeit und der für den Kunden relevanten Produkteigenschaften.

Um ein angemessenes Controlling zu ermöglichen, muss darauf geachtet werden, dass die gewünschten Informationen, beispielsweise bezogen auf Produktgruppen oder Vertriebskanäle, durchsichtig bleiben. Probleme in diesem Bereich entstehen, wenn eine Verkaufseinheit in mehrere Endprodukte eingeht, die verschiedenen Produktgruppen angehören.

Einfache Produkte mit einer relativ geringen Anzahl kundenrelevanter Merkmale und einer geringen Anzahl Endproduktvarianten können mit klassischen Verkaufshilfsmitteln wie Produktkatalogen oder Verkaufsdokumentationen ohne grössere Schwierigkeiten angeboten werden[1]. Bei komplexeren Produkten mit einer grossen Anzahl von Produktmerkmalen und entsprechend vielen Endproduktvarianten, sowie bei Produkten, die eine grössere Anzahl von Kombinationseinschränkungen zwischen den einzelnen Produktmerkmalen aufweisen, empfiehlt sich der Einsatz von computerge-

---

[1] Vgl. Steppan (1990), S. 57.

stützten Produktkonfiguratoren[1]. Im Unterschied zu Produktkatalogen werden mit Konfiguratoren nicht fertige Endproduktvarianten ausgesucht, sondern Endprodukte aufgrund der Auswahl verschiedener Produktmerkmale aus Komponenten zusammengestellt[2].

Für den Einsatz solcher Konfiguratoren muss die Produktstruktur in einer Weise abgebildet werden, die den speziellen Anforderungen des computerunterstützten Verkaufs Rechnung trägt. Als Basis für die Abbildung der Produktstruktur in einem Konfigurator dient die bereits erarbeitete Basisabbildung der Produktstrukturelemente[3].

In einem ersten Schritt wird die Basisabbildung der Elemente erarbeitet. Dabei werden die Elementvarianten durch Merkmalsausprägungen so beschrieben, dass sie eindeutig identifizierbar sind. Alle Unterscheidungsmerkmale werden in einem nächsten Schritt auf kundenrelevante Merkmale zurückgeführt[4]. Die Beschreibung des Produktes auf Basis seiner Komponenten ist damit abgeschlossen.

In Tab. 4–5 ist die Basisabbildung der Produktstruktur für einen einfachen Schubladenschrank dargestellt. Das Gehäuse ist erhältlich in zwei Breiten bei einheitlicher Höhe und Tiefe. Als Ausrüstung können Schubladen oder Fachböden gewählt werden.

---

[1] Steppan (1990), S. 60, definiert Konfiguration wie folgt: "Als Konfiguration bezeichnet man einen Selektionsvorgang, bei dem ein (komplexes) Endprodukt nach den parametrisierten Wünschen des Kunden bzw. den Erfordernissen des Anwendungsfalles zusammengestellt wird."

[2] Vgl. Eversheim / Klevers et al. (1993), S. 327.

[3] Gross (1990), S. 61 ff., schlägt in diesem Zusammenhang die Bildung einer auftragsneutralen Produktstruktur vor, die durch Auftragsklärung mittels Struktogramm in eine kundenspezifische ProduktStruktur übergeführt wird. Das Struktogramm entspricht einer hierarchisierten Merkmalsabfrage.

[4] Jede Varianz des Produktes muss auf Kundenanforderungen zurückführbar sein. Produkte, die sich aus Sicht des Kunden nicht unterscheiden, stellen eine unnötige Komplexität im Innenverhältnis des Unternehmens dar, was unnötige Kosten zur Folge hat. Überflüssige Produkte müssen daher beseitigt werden.

Bezeichnung	Art. Nr.	Merkmale
Gehäuse	12.864	Breite 600mm, blau
Gehäuse	12.865	Breite 600mm, grün
Gehäuse	12.859	Breite 800mm, grün
Schublade	11.763	Breite 600mm, blau, Fronthöhe 100mm
Schublade	11.764	Breite 600mm, grün, Fronthöhe 100mm
Schublade	11.765	Breite 800mm, grün, Fronthöhe 100mm
Schublade	11.766	Breite 600mm, blau, Fronthöhe 200mm
Schublade	11.767	Breite 600mm, grün, Fronthöhe 200mm
Schublade	11.768	Breite 800mm, grün, Fronthöhe 200mm
Fachboden verzinkt	11.001	Breite 600mm
Fachboden verzinkt	11.002	Breite 800mm

Tab. 4–5: Merkmalsorientierte Beschreibung der Komponenten in der Basisabbildung

In einer nächsten Phase werden die Produkteigenschaften aus den Elementmerkmalen abgeleitet[1]. Dabei werden die Merkmale hierarchisiert, so dass keine Informationen redundant abgefragt werden müssen. Übergeordnet werden die Breite und die Farbe des Schrankes abgefragt, welche für sämtliche Komponenten massgebend sind[2]. In einem Untermenü werden dann die Komponenten der Ausrüstung ausgewählt. Bei den Fachböden muss nur noch die Anzahl angegeben werden, weil die Breite bereits vorher bestimmt wurde. Bei der Auswahl der Schubladen muss zusätzlich zur Anzahl auch noch die Fronthöhe angegeben werden, was nicht übergeordnet geschehen kann. Die Farbe der Schubladenfront ist durch die Wahl der Gehäusefarbe vorgegeben, kann aber untergeordnet angepasst werden.

Im weiteren werden Einschränkungen der Kombinierbarkeit auf Stufe der Merkmalsausprägungen abgebildet, um unmögliche Produktkonfigurationen auszuschliessen. Beispielsweise ist der Schrank mit Breite 800 mm nur in Grün erhältlich. Falls nötig können mit Hilfe eines Konfigurators auch weitere Zusammenhänge innerhalb der Produktstruktur abgebildet werden. Im Beispiel des Schrankes werden die Fronthöhen

---

[1] Diese Gliederung entspricht der *functional view* im Konzept von Tseng / Jiao (1998), S. 4.

[2] Die Farbe kann jedoch untergeordnet bei der Auswahl der Schubladen angepasst werden, so dass Gehäuse und Schubladen unterschiedliche Farben aufweisen.

der Schubladen zusammengezählt und es wird geprüft, dass die lichte Höhe des Gehäuses nicht überschritten wird.

Der Einsatz von Konfiguratoren erlaubt es, dem Benutzer die Kenntnis der Produktstruktur zu ersparen. Der Einsatz von Konfiguratoren ermöglicht es einem Verkäufer ohne vertiefte Kenntnis der Produktstruktur ein Produkt zusammenzustellen, das vollständig und funktionsfähig ist. Durch fehlerfreie Angebote können kostspielige Rückfragen und zusätzliche Abklärungen vermieden werden. Abb. 4–29 zeigt die Unterteilung der Produktstrukturinformation in vom Kunden wählbare Merkmale und in Information, die im Konfigurator als Regelbasis für den Benutzer nicht sichtbar hinterlegt ist.

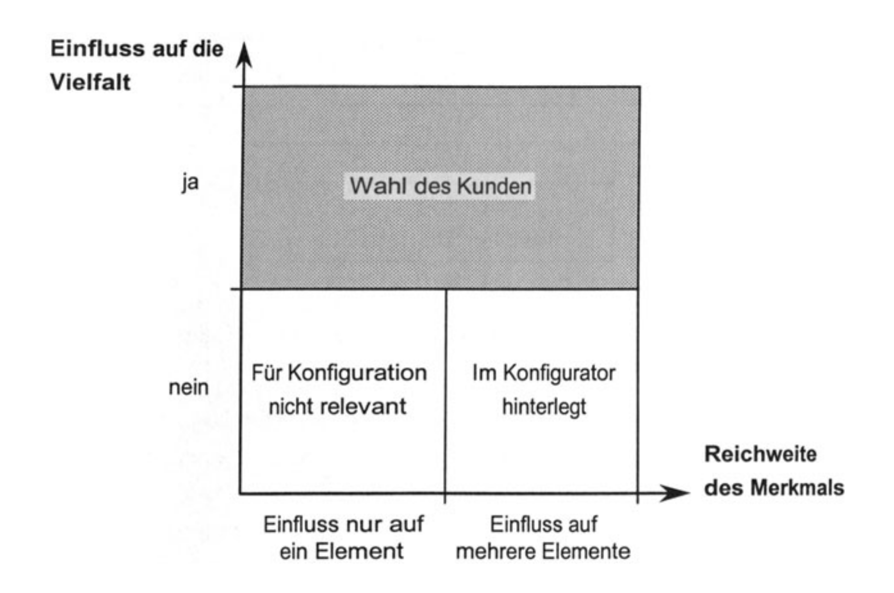


Abb. 4–29: Beim Kunden abzufragende Produktstrukturinformation

Aus der vertriebsorientierten Erzeugnisgliederung können sich Anforderungen ergeben, die bei der Umsetzung in eine physische Produktstruktur berücksichtigt werden müssen. Dies kann zum Beispiel die Aufteilung von Funktionen in Baugruppen, oder die Gestaltung von Schnittstellen betreffen.

4.2.6 Umsetzung in eine physische Produktstruktur

Die Umsetzung der bisher erarbeiteten Erzeugnisgliederungen und Vorgaben in eine physische Produktstruktur entspricht den Phasen Entwerfen und Ausarbeiten im Konstruktionsprozess nach VDI 2222[1] und bildet den letzten Schritt der Produktstrukturierung (Abb. 4–30).

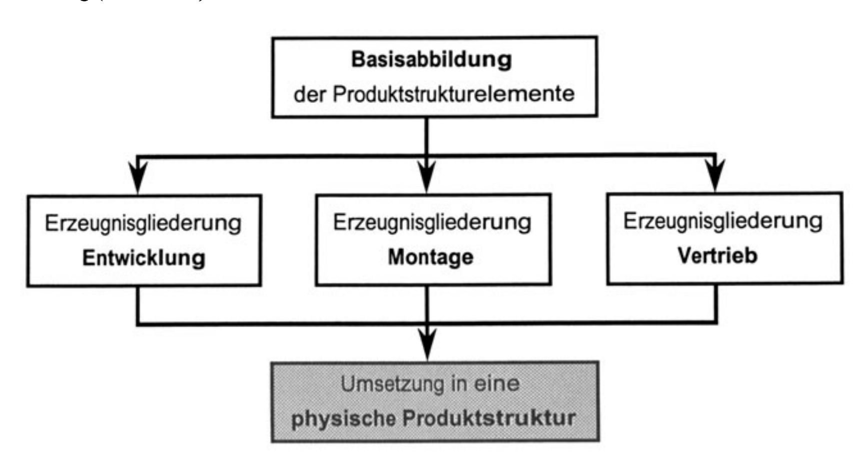


Abb. 4–30: Umsetzung in die physische Produktstruktur

Die Umsetzung der Funktionsblöcke aus der Basisabbildung in konkrete, physische Bauteile und Komponenten, aus denen das Produkt schliesslich besteht, geschieht in der Entwicklungsabteilung des Unternehmens. Im Vorfeld der Entwicklung werden die geforderten Eigenschaften eines Produktes in Form eines Pflichtenheftes festgelegt. Das Pflichtenheft umschreibt, welche Eigenschaften das Produkt aufweisen muss. Neben den funktionalen Vorgaben werden auch Nebenbedingungen festgelegt. Eine wichtige Nebenbedingung ist die Stückzahl, in der das Produkt hergestellt werden soll. Weitere Angaben betreffen die Zielkosten pro Stück, die geplanten Entwicklungskosten, sowie die zur Verfügung stehende Entwicklungszeit[2]. Hingegen wird im Pflichtenheft nicht beschrieben, *wie* die geforderten Eigenschaften des Produktes technisch erreicht werden sollen. Dies ist der Freiraum des Entwicklers.

---

[1] Vgl. VDI (1979), zitiert nach Caesar (1990), S. 19.

[2] Vgl. Eversheim (1990 b), S. 77 ff., sowie Koller (1985), S. 12-16.

In dieser Phase werden die Funktionselemente in technische Lösungen in Form von Teilen und Baugruppen umgesetzt. Freiheitsgrade bestehen vor allem in der Wahl der technischen Lösung zur Funktionserfüllung. Dies betrifft sowohl die Ausgestaltung der Elemente, als auch der Schnittstellen. Zu berücksichtigen sind hierbei alle Vorgaben, die sich aus der Vorbereitung der Produktstrukturierung und den vorgelagerten Erzeugnisgliederungen ergeben haben.

Bei der Umsetzung in eine physische Produktstruktur finden insbesondere auch die in Kapitel 3.1 beschriebenen Methodenbausteine ihre Anwendung. Weiter werden bekannte Konstruktionstechniken, wie zum Beispiel Design for Manufacturing angewendet[1].

Während die Vielfaltsentscheidungen zu einem grossen Teil in den vorgelagerten Schritten gefällt werden, besteht bezüglich des Integrationsgrades der einzelnen Komponenten noch weitgehende Freiheit. Auch die Schnittstellen zwischen Bauteilen, die nicht bereits durch die Erzeugnisgliederungen vorgegeben sind, bilden einen Freiheitsgrad.

Alternative Konstruktionskonzepte für die Funktionsblöcke werden erarbeitet und bewertet[2]. Die geeignetsten Lösungen werden ausgewählt und umgesetzt. Am Ende der physischen Umsetzung ist die Produktstruktur bis auf Stufe Bauteil genau definiert. Die Beschreibung der Teile und Schnittstellen erfolgt durch Zeichnungen, Stücklisten und Arbeitspläne. Gegebenenfalls werden auch Wartungsvorschriften sowie Anweisungen bezüglich Demontage, Recycling und Entsorgung erstellt[3]. Schnittstellenbeschreibungen auf dieser Stufe sind nur in Ausnahmefällen notwendig.

4.2.7 Vermeidung unnötiger Vielfalt

Im Rahmen der Marktuntersuchungen wurden die marktseitig geforderte Funktionalität und die daraus resultierende benötigte Vielfalt bestimmt. In der Umsetzung in eine physische Produktstruktur geht es nun auch darum, zu verhindern, dass unternehmensintern eine zusätzliche unnötige Vielfalt entsteht.

---

[1] Vgl. Boothroyd et al. (1994), sowie Bässler / Schmaus (1986), S. 33-36.

[2] Vgl. Ulrich / Eppinger (1995), S. 77-127.

[3] Vgl. Eversheim / Krause (1996), S. 7–33.

Die marktseitig benötigte Vielfalt führt zu einer exogenen Komplexität des Leistungsprogramms. Daraus ergibt sich eine interne Komplexität in Produkten und Prozessen, welche Komplexitätskosten verursacht[1]. Ziel muss es sein, die am Markt benötigte Komplexität mit einer möglichst geringen internen Komplexität zu erreichen. Das Management der Produktstruktur bildet einen Teil dieses Komplexitätsmanagements.

Im Sinne der Vermeidung von unnötigen Komplexitätskosten ist darauf zu achten, dass im Innenverhältnis des Unternehmens keine unnötige Vielfalt entsteht, die marktseitig nicht wahrgenommen oder nicht honoriert wird[2]. Dies bezieht sich sowohl auf Produkte- als auch auf Prozessvielfalt. Nachfolgend werden einige Grundsätze aufgeführt, die dazu beitragen, die interne Komplexität tief zu halten.

Ein schon beinahe trivial anmutender Grundsatz ist, dass dasselbe Problem wo möglich immer auf dieselbe Art gelöst werden soll. Oftmals werden jedoch durch verschiedene Entwicklungsteams durch mangelnde Absprachen unterschiedliche Lösungen für dasselbe Problem umgesetzt. Dadurch werden Synergieeffekte verhindert und unnötige Komplexität wird geschaffen. Bei einem Hersteller von Kombikraftwerken wurde zum Beispiel festgestellt, dass die Schmierölversorgungssysteme für die Gleitlager der Gasturbinen ganz anders aufgebaut sind, als diejenigen für die Lager der Dampfturbinen. Da beide Systeme sehr ähnliche Funktionen erfüllen, hätte bei einer intensiveren Zusammenarbeit ein beachtliches Kosteneinsparungspotential bestanden. Eine nachträgliche Anpassung hingegen wäre zu kostspielig gewesen.

Zur Vermeidung unnötiger Komplexität sollte darauf geachtet werden, dass sich die Vielfalt auf möglichst wenige Parameter beschränkt. Die Firma Black & Decker entwickelte in den siebziger Jahren eine Produktplattform für ihre Elektrowerkzeuge. Dafür benötigte sie Elektromotoren mit verschiedenen Leistungen zwischen 60 W und 650 W. Während für Motoren mit grösseren Leistungen üblicherweise einfach Gehäuse derselben Gestalt eingesetzt werden, deren Abmessungen um einen bestimmten Faktor vergrössert werden, beschränkte sich Black & Decker darauf, die Länge des Gehäuses zu verändern. Dies führte dazu, dass neben einem grossen Gleichteileanteil auch Durchbrüche in der Automatisierung der Fertigung erzielt werden konnten. Es konnten 85% der Mitarbeiter in der Produktion eingespart werden. Diese Einsparungen

---

[1] Vgl. Kaiser (1995), S. 17.

[2] Vgl. Kaiser (1995), S. 98-106.

wurde zum Teil durch die kapitalintensiveren Maschinen aufgezehrt. Dennoch wurden jährliche Einsparungen von 1'280'000 USD (Basis 1974) erzielt[1].

Ein weiterer Grundsatz besagt, dass die Varianz des Produktes im Produktionsprozess möglichst spät entstehen soll. Dies ermöglicht eine Produktion mit einer minimalen Anzahl Umrüstvorgängen und eine grösstmögliche Flexibilität im Bezug auf Kundenwünsche. Die Firma Benetton hat den Herstellprozess ihrer Strickwaren umgestellt: Es wird nicht mehr Garn gefärbt und dann zu Kleidungsstücken verarbeitet, sondern die Kleidungsstücke werden in einer neutralen Farbe produziert. So kann Benetton sehr kurzfristig auf Modetrends und Kundenwünsche bezüglich der Farben reagieren. Dadurch konnte die Planungssicherheit erhöht werden, was Einsparungen in Millionenhöhe brachte[2].

4.3 Produktstruktursicherung

Beim Produktstrukturmanagement gilt das Primat der Vermeidung vor der Beherrschung von Produktstrukturänderungen. Deshalb muss sichergestellt werden, dass eine einmal erreichte Produktstrukturqualität aufrecht erhalten werden kann. In den vorangehenden Abschnitten wurde aufgezeigt, wie eine geeignete Produktstruktur erreicht werden kann. Mindestens ebenso wichtig ist es jedoch, dafür zu sorgen, dass die erreichte Qualität der Produktstruktur erhalten bleibt.

4.3.1 Änderungsprozesse festlegen

Auch bei geeigneter Planung der Produktstruktur lässt es sich nicht vermeiden, dass im Laufe der Zeit Änderungen der Produktstruktur nötig werden. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass solche Änderungen in geordneten Bahnen verlaufen. Dies bedingt einen klar festgelegten Änderungsprozess, nach dem jede Änderung vollzogen wird. Um sicherzustellen, dass sämtliche Zusammenhänge berücksichtigt werden, empfiehlt es sich, ein Änderungsteam zu bilden, in welchem Vertreter aller betroffenen Unternehmensbereiche repräsentiert sind. Dies führt zwar zu einem relativ grossen

---

[1] Vgl. Meyer / Lehnerd (1997), S. 7-15.

[2] Vgl. Feitzinger / Lee (1997), S. 119.

Aufwand, der sich aber dadurch rechnet, dass schwerwiegende Fehler vermieden werden können. In verschiedenen Projekten, bei denen der Verfasser mitgewirkt hat, hat sich gezeigt, dass es besonders wichtig ist, einen Process Owner zu bestimmen, der für die Einhaltung des Änderungsprozesses verantwortlich ist. In vielen Unternehmen bestehen zwar definierte Änderungsprozesse, diese werden aber nicht durchgesetzt. Die Folge davon ist, dass die Produktkomplexität unnötigerweise ansteigt.

4.3.2 Produktstrukturcontrolling

Es kommt oft vor, dass sich eine durchdachte und an die Anforderungen angepasste Produktstruktur im Laufe der Zeit durch ungeeignetes oder fehlendes Produktstrukturmanagement immer weiter vom Idealzustand entfernt. In der Literatur ist insbesondere das Phänomen der unkontrollierten Zunahme der Variantenvielfalt breit diskutiert worden. Aber auch die Aufweichung von Entwicklungsrichtlinien und Schnittstellendefinitionen stellt ein ernstzunehmendes Problem dar.

Ein wichtiger Grundsatz ist die Sicherstellung der Einhaltung von Entwicklungsrichtlinien im Sinne einer Umsetzung der Produktstruktur. Häufig werden durch mangelnde Kenntnis des Gesamtsystems von Entwicklern scheinbare Verbesserungen vorgenommen. Diese haben im betrachteten Bereich tatsächlich positive Auswirkungen, verschlechtern aber über alles gesehen die Eigenschaften der Produktstruktur oder verschlechtern die Funktion des Produktes. Bei der Schrank GmbH wurde zum Beispiel festgestellt, dass die kreisrunden Ausstanzungen an den Schrankgehäusen, die zum Aufhängen der Gehäuse bei der Lackierung benötigt werden, zu klein waren. Durch den geringen Lochdurchmesser wurde das Einhängen der Haken erschwert. Für eine neue Schrankvariante wurden die bestehenden Arbeitspläne geändert und die Lochdurchmesser vergrössert. Dabei wurde übersehen, dass die Stanzungen auch dazu dienen, nebeneinander stehende Schränke seitlich zu verschrauben. Dies führte dazu, dass Kunden, die eine Nachlieferung von Schränken erhalten hatten, sich beklagten, dass sich die Schränke nicht verschrauben lassen. Der Lochdurchmesser wurde daraufhin zurückgeändert und ein anderes Prinzip der Aufhängung gewählt. Der betreffende Konstrukteur hatte die gegenseitige Abhängigkeit von nebeneinander stehenden Schränken nicht berücksichtigt, was zu unnötigem Aufwand führte.

Während die Produktstruktur in bezug auf die Abhängigkeiten zwischen den Elementen durch Entwicklungsrichtlinien und geeignete Änderungsprozesse hinreichend geschützt ist, gilt dies nicht für Aspekte der Vielfalt. Neue Produkt- oder Elementvarianten können zum Beispiel im Rahmen von Kundenprojekten entwickelt werden. Häufig werden solche Lösungen dann ins Sortiment aufgenommen, so dass die Variantenzahl unkontrolliert ansteigt. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Produktstrukturcontrollings, um Veränderungen über die Zeit erkennen zu können[1]. ZICH hat eine Anzahl von Vielfaltskennzahlen entwickelt[2], von denen sich einige dafür eignen, die Entwicklung der Produktevielfalt zu überwachen (Tab. 4–6). Die Summe der Objekte gibt an, wie viele Produkt- oder Modulvarianten in einem Unternehmen existieren. Massgebend ist die Anzahl der Artikelnummern, die gepflegt werden. Bei dieser Kenngrösse ist insbesondere deren Entwicklung im Laufe der Zeit von Interesse. Die Anzahl neuer, geänderter und eliminierter Objekte gibt Aufschluss über die Robustheit der Produktstruktur gegenüber Änderungen. Die ABC-Analyse schliesslich ergibt Informationen über die Einsatzhäufigkeit der Objekte.

Kenngrösse	***Beschreibung***
Summe der Objekte	Gibt den Gesamtbestand von Objekten wieder
Anzahl neuer Objekte	In der Betrachtungsperiode neu erstellte Objekte
Anzahl geänderter Objekte	In der Betrachtungsperiode geänderte Objekte
Anzahl gelöschter Objekte	In der Betrachtungsperiode eliminierte Objekte
Konzentration der Stückzahlen auf bestimmte Objekte	ABC-Analyse über die Objektvarianten

Tab. 4–6: Kennzahlen zur Überwachung der Variantenvielfalt[3]

[1] Vgl. Hichert (1985), S. 237.

[2] Vgl. Zich (1996), S. 154-157.

[3] In Anlehnung an Zich (1996), S. 156.

4.3.3 Produktstruktur-Wissenssicherung

Das Produktstrukturwissen ist oft nicht in expliziter Form verfügbar, sondern nur in den Köpfen der Mitarbeiter vorhanden[1]. Dies führt dazu, dass oftmals das Know-how das Unternehmen verlässt, wenn der betreffende Mitarbeiter kündigt. Die Folge ist, dass dieselben Überlegungen und Fehler im Laufe der Zeit mehrmals gemacht werden. Es ist daher von ausserordentlicher Bedeutung, dass das produktstrukturbezogene Wissen ausreichend dokumentiert wird.

Zur Sicherung des Produktstrukturwissens bietet sich die Verwendung von Datenbanken an. In vielen Unternehmen werden PDM-Systeme eingesetzt, um vorhandene Dokumente elektronisch zu verwalten. Der Vorteil von elektronischen Lösungen liegt vor allem in der erleichterten Auffindbarkeit von Daten. Einerseits werden Suchverfahren angeboten, andererseits können die Datensätze ohne Redundanz in verschiedenen Applikationen verwendet werden.

Wichtig ist eine klare Zuordnung von Verantwortlichkeiten und Rechten. Es empfiehlt sich, ein Wissenssicherungsteam[2] zu bilden, welches die Verantwortung für die Sicherung des Produktstrukturwissens trägt. Die Zugriffsrechte auf die Informationen bezüglich Schaffung, Änderung und Löschung von Daten sollten klar geregelt werden.

---

[1] Vgl. Nonaka / Takeuchi (1995), S. 13-14.

[2] Vgl. Nonaka / Takeuchi (1995), S. 151-159.

5 Fallbeispiel Elektrolokomotiven

Am Beispiel der Produktplattform "Octeon" für Elektrolokomotiven der Firma ADtranz soll im folgenden die Anwendbarkeit des Konzepts zum Produktstrukturmanagement illustriert werden. Ziel der Anwendung ist es, das Vorgehen an einem Beispiel aus der Praxis zu verdeutlichen.

5.1 Ausgangslage

Die ADtranz ist der weltweit grösste Anbieter von Schienenfahrzeugen. Sie entstand 1995 durch die Fusion von Bestandteilen aus den Konzernen Asea Brown Boveri (ABB) und Daimler-Benz. Durch Akquisitionen und strategische Zusammenarbeiten kamen später Unternehmensteile von Westinghouse und Schindler zum Konzern hinzu. Im Jahr 1999 ging ADtranz zu 100% in den Besitz von DaimlerChysler über. ADtranz beschäftigt in über 90 Ländergesellschaften weltweit rund 25'000 Mitarbeiter. Der Umsatz betrug 3,5 Milliarden ECU im Jahr 1997, der Bestellungseingang belief sich auf 3,85 Milliarden ECU.

Das Umfeld im Bereich der Schienenfahrzeuge hat sich im Verlauf der letzten Jahre massiv geändert und der Konkurrenzdruck ist gestiegen. Früher staatliche Bahngesellschaften wurden privatisiert und staatliche Zuschüsse sind weitgehend weggefallen. Der Weltmarkt für Schienenfahrzeuge stagniert bezüglich Stückzahlen und verzeichnet teilweise sogar Rückgänge. Demgegenüber besteht eine massive Überkapazität auf Seiten der Anbieter. Dies hat dazu geführt, dass innerhalb der letzten sieben Jahre der Marktpreis für Elektrolokomotiven um rund 40% gesunken ist (Abb. 5-1). Ein massiver Stellenabbau in jüngerer Vergangenheit war die Folge. Vor diesem Hintergrund mussten Konzepte gefunden werden, um einerseits Kosten zu senken und andererseits die Kundenbedürfnisse noch besser abzudecken.

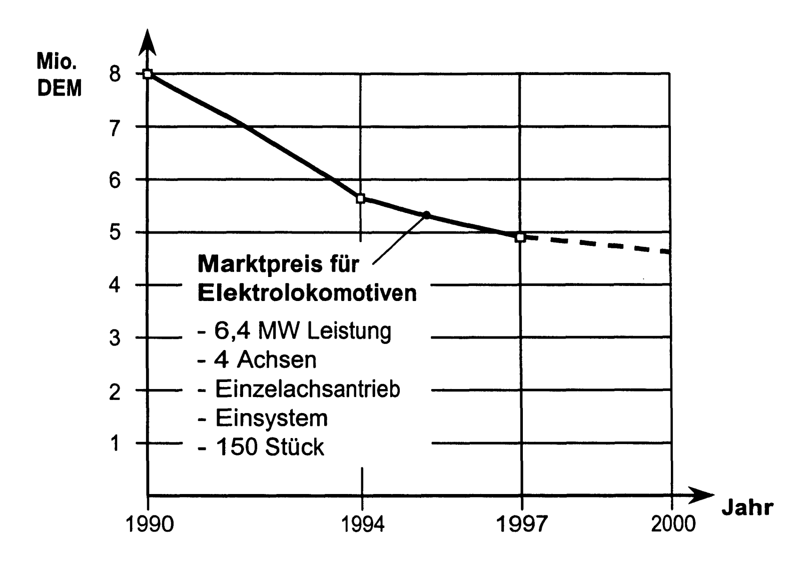


Abb. 5–1: Preisverfall auf dem Markt für elektrische Lokomotiven

5.2 Das Octeon-Projekt

Das Geschäft mit elektrischen Schienenfahrzeugen und insbesondere mit Elektrolokomotiven ist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an kundenspezifischen Anforderungen und länderabhängigen Gegebenheiten. Um auch bei kleineren Stückzahlen Skaleneffekte erschliessen zu können, hat ADtranz im Rahmen eines Projektes die Produktstruktur ihrer Elektrolokomotiven mit vier und sechs Achsen untersucht und die modulare Produktplattform Octeon entwickelt. Die Vorgehensweise und die erzielten Ergebnisse sollen an dieser Stelle beschrieben werden.

5.2.1 Vorbereitung der Strukturierung

5.2.1.1 Rahmenbedingungen

Die ADtranz verfolgt traditionell eine Differenzierungsstrategie mit dem Ziel, durch hochwertige Produkte langfristige Kundenbindungen zu erreichen. Durch den wachsenden Preisdruck wurde eine gleichzeitige Kostenführerschaft zur Notwendigkeit für eine erfolgreiche Zukunft. Ein durch die Produktstrukturierung erschliessbares Potential wurde vor allem in den projektbezogenen Einmalkosten, im Bereich der Montage, sowie bei den Garantie- und Wartungskosten festgestellt. Durch den technologischen Fortschritt waren auch Einsparungen bei den Materialkosten zu erwarten.

ADtranz weist eine relativ geringe Fertigungstiefe auf und hat sich vor allem auf die Bereiche Entwicklung und Montage spezialisiert. Die Kernkompetenzen liegen in der Systemintegration und in der Entwicklung von Systemen der Leistungselektronik, insbesondere auf dem Gebiet der Stromrichter[1], sowie im mechanischen Bereich auf der Entwicklung von Drehgestellen.

5.2.1.2 Grundlegende Entscheidungen

Eine Lokomotive ist ein hochkomplexes System, welches sich aus einer ganzen Reihe untergeordneter Systeme zusammensetzt. Technologische Entscheide mussten im Vorfeld des Projektes nur in denjenigen Bereichen getroffen werden, welche auf mehrere Elemente Einfluss haben. Ein solcher übergeordneter Entscheid betraf die Technologie des Stromrichters. Dieser wurde sowohl als öltauchgekühlter GTO-Stromrichter, als auch als wassergekühlter IGBT-Umrichter vorgesehen. Technologieentscheide, welche sich ohne Beeinflussung anderer Elemente auf ein Element beschränken, konnten in den Entwicklungsteams der betreffenden Elemente zu einem späteren Zeitpunkt gefällt werden.

Der Zeithorizont der Produktplanung wurde bewusst langfristig gewählt. Das Octeon-Konzept dient als Plattform für den grössten Teil der erwarteten Kundenaufträge der

[1] Vgl. Rapp (1994) und Rapp (1995) für weiterführende Informationen über Hochleistungsstromrichter für Lokomotiven mit Drehstromantrieb.

nächsten Jahre. Erschwerend wirkte der Umstand, dass eine Abschätzung der Reihenfolge der zu erwartenden Kundenaufträge nur in sehr beschränktem Mass möglich war. Dies führte dazu, dass zur Entwicklung der Plattform vor allem Gemeinsamkeitsplanung und die differenzierenden Merkmale eingesetzt werden konnten. Ein Produktplan im klassischen Sinn konnte nicht erstellt werden[1]. In der Breite reicht das Spektrum von schweren, sechsachsigen Güterzuglokomotiven bis hin zu vierachsigen Hochgeschwindigkeitslokomotiven mit geringer Masse. Der abzudeckende Leistungsbereich bewegt sich ungefähr zwischen 3,5 MW und 6,5 MW. Insbesondere wurde auch Wert darauf gelegt, die unterschiedlichen Technologiezyklen der Baugruppen zu berücksichtigen. Langlebige Baugruppen wie Mechanik und Motoren wurden so ausgelegt, dass schnell veraltende Baugruppen wie Computer oder Stromrichter einfach aufgerüstet werden können.

Mit der Produktstrukturierung wurden verschiedene Ziele verfolgt. Einerseits sollte die Montagezeit verkürzt und eine weitgehende Vorprüfung der Baugruppen ermöglicht werden. Dies deshalb, weil viele Kundenaufträge im Bereich Schienenfahrzeuge mit hohen Konventionalstrafen bei zu später Auslieferung belegt sind. Durch den grossen Wert der Produkte sind zudem die Zinskosten für die Ware in Arbeit beträchtlich. Weiteres Ziel war es, die Lebenszykluskosten durch verschiedene Massnahmen möglichst tief zu halten. Zu berücksichtigen waren beispielsweise auch Kosten für Entsorgung und Recycling, sowie Umweltaspekte wie Lärmentwicklung. Die Verfügbarkeit der Lokomotive sollte durch austauschbare Module und wartungsfreundliche Konstruktion erhöht werden.

Bei vielen Kundenaufträgen ist eine der Kaufbedingungen, dass ein gewisser Wertschöpfungsanteil im Land des Bestellers erbracht wird. Um dieser Anforderung Rechnung zu tragen, sollte eine saubere Abgrenzung der Baugruppen eine Montage vor Ort ermöglichen.

Im weiteren sollte das Octeon-Konzept verschiedenartige und kundenspezifische Erscheinungsbilder zulassen, ohne dass sich deswegen der grundsätzliche Lokomotivaufbau oder das Layout ändert.

---

[1] Vgl. Robertson / Ulrich (1998), S. 23.

5.2.1.3 Berücksichtigung von Vorgängerprodukten

Die Lokomotivindustrie zeichnet sich durch hohe Innovationsraten einzelner Systeme aus. Der grundsätzliche Aufbau der Lokomotive dagegen ist von langer Lebensdauer. Für die Produktstrukturierung bedeutete dies, dass die Beziehungsinformation zu einem grossen Teil von bestehenden Produkten abgeleitet werden konnte. Dagegen waren die Vielfaltsinformationen oft nur bezüglich der Merkmale wiederverwendbar, weil sich die Merkmalsausprägungen teilweise grundsätzlich geändert hatten. Im Octeon-Projekt wurde deshalb auf eine detaillierte Analyse der Vielfalt bestehender Produkte verzichtet. Hingegen konnte ein grosser Teil der Beziehungsinformation von Vorgängerprodukten abgeleitet werden.

Die Untersuchung der Stückkostenstruktur bei Elektrolokomotiven ergab, dass insbesondere im Bereich der kundenauftragsbezogenen Engineeringkosten ein erhebliches Potential bestand. Besonders bei der Abwicklung von Projekten mit sehr kleinen Stückzahlen fielen diese Kosten übermässig ins Gewicht. Im weiteren war das Ziel, die Kosten für die Montage und Inbetriebsetzung zu reduzieren.

Die Kosten für das Engineering sind eine Funktion der notwendigen Änderungen für ein Projekt. Die Anzahl der Änderung kann durch eine Vergrösserung der Bereiche einzelner Merkmalsausprägungen reduziert werden, was jedoch grössere Materialeinzelkosten mit sich bringt. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Bildung von geeigneten Modulen, um die Änderungen auf einen möglichst kleinen Umfang zu beschränken.

Die Möglichkeiten zur Reduktion der Kosten im Bereich der Montage durch eine konsequente Gliederung in prüfbare Vormontageeinheiten wurden als relativ gut beurteilt. Es wurde deshalb ein besonderes Gewicht auf die montageorientierte Gliederung gelegt.

Wenig Beeinflussungspotential durch die Produktstruktur wurde dagegen im Bereich der Blöcke Material- und Fertigungsgemeinkosten festgestellt. Eine Reduktion der Baugruppenvarianten schien wenig erfolgversprechend. Die theoretisch mögliche Anzahl der Endproduktvarianten stellt keinen Kostentreiber dar, da Kosten nur für tatsächlich realisierte Varianten anfallen. Eine Reduktion der effektiv realisierten

Varianten im Sinne einer Standardisierung ist aufgrund der hohen Anzahl der kunden- und länderspezifischen Anforderungen unrealistisch.

5.2.2 Durchführung der Produktstrukturierung

5.2.2.1 Benötigte Funktionalität

Durch Marktuntersuchungen und ein systematisches Business Opportunity Scanning werden auf Konzernstufe Prognosen über mögliche Kunden und Aufträge erarbeitet und in ein Datenbanksystem gespeist. Basierend auf diesen Informationen und den länderspezifischen Gegebenheiten konnte die kurz- und mittelfristig zu erwartende Funktionalität ermittelt werden. Für noch längerfristige Prognosen wurden Einflussgrössen für die Marktentwicklung identifiziert und Szenarien erarbeitet. Im Rahmen von Expertengesprächen wurden die verschiedenen Szenarien bewertet und Prioritäten abgeleitet.

Das Festlegen einer bestimmten Variantenzahl auf Stufe Endprodukt war weder möglich noch sinnvoll. Die Anzahl der Produktvarianten, welche aus den zu realisierenden Elementvarianten theoretisch hätten konfiguriert werden können, bewegte sich im Bereich einiger Billionen. Demgegenüber war die tatsächlich zu erwartende Anzahl verschiedener Endprodukte in den Projekten sehr klein, nämlich höchstens einige Dutzend. Für die möglichen, aber nie realisierten Konfigurationen fallen keinerlei Kosten an, weshalb diese Varianten bedeutungslos sind. Die Vielfaltsentscheidungen wurden deshalb auf Stufe Merkmale gefällt.

5.2.2.2 Planung der Erzeugnisgliederungen

Um in einer frühen Projektphase einen Überblick über die Zusammenhänge der einzelnen benötigten Erzeugnisgliederungen zu erhalten, wurde ein METUS-Plan erstellt. Ausgehend von den identifizierten Kundenbedürfnisse wurden Funktionsblöcke definiert und auf Entwicklungseinheiten zugeordnet. Die rund 140 Funktionselemente wurden auf bestehenden Konzepten beruhend provisorisch aufgenommen und in Vormontageeinheiten und Assemblies gruppiert (Abb. 5–2).

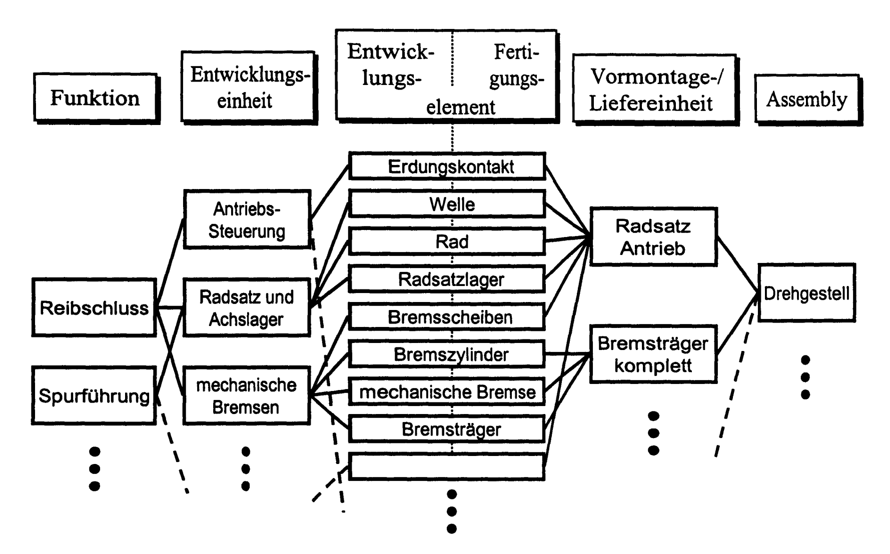


Abb. 5–2: Ausschnitt aus der METUS-Struktur des Octeon-Konzepts

5.2.2.3 Bestimmung der Basisabbildung der Elemente

Ausgehend von den Elementen innerhalb der METUS-Struktur wurde die Basisabbildung erarbeitet. In einer ersten Phase wurden die Elemente mit Hilfe von Merkmalen beschrieben. Tab. 5–1 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Beschreibung der Auslegungsabhängigkeiten.

Die Elemente wurden im Rahmen des Octeon-Projektes zur Beschreibung nicht weiter als bis Stufe Baugruppen zerlegt. Der Beschreibungsaufwand der Elemente war somit etwas grösser als theoretisch notwendig wäre. Viele Baugruppen waren jedoch bereits durch Zeichnungen und Teilenummern beschrieben, so dass eine weitere Zergliederung nicht sinnvoll war.

Nr	Kenner	Element	Abhängig von
1	E	Typhon	Typhon
2	E	Einstiegstüre	Anzahl Türen, Druckschutzart
3	E	Seitenfenster	Fensteröffnung, Druckschutzart
4	E	Stirnbeleuchtung	Mittellichtanordnung
5	S	Scheibenwischer	
6	E	Klimagerät	minimale und maximale Umgebungstemperatur
7	ZE	Druckschutzeinrichtung	Druckschutzart
8	Z	Fahrplanbeleuchtung	
10	E	Zugfunkbedienung	Kommunikationskonsole, Einsatzort

Tab. 5–1: Auslegungsabhängigkeiten am Beispiel Führerkabine (Ausschnitt)

Im nächsten Schritt wurden pro Merkmal die technisch möglichen Ausprägungen ermittelt. Dies geschah im Rahmen von Workshops innerhalb der Fachgruppen für die einzelnen Assemblies. Insgesamt wurden rund 300 Produktmerkmale behandelt, die zur eindeutigen Unterscheidung der Lokomotivvarianten nötig sind. Tab. 5–2 zeigt einen Ausschnitt aus der Liste der Merkmale und Ausprägungen des Assemblies Führerkabine.

Merkmale	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3
Minimale Umgebungstemperatur	-30°C	-40°C	
Maximale Umgebungstemperatur	+35°C	+40°C	+45°C
Druckschutzart	ohne Druckschutz	Klappe	Ventilator
Seitenspiegel	elektrisch	TV-Kamera	
Mittellichtanordnung	oben	unten	
Typhon	auf Dach	integriert	
Anzahl Türen	1 Tür	2 Türen	

Tab. 5–2: Merkmale und Ausprägungen am Beispiel Führerkabine (Ausschnitt)

Durch diese Betrachtung entstanden maximale Bandbreiten bei allen Parametern. Aus Kostengründen war eine Abdeckung aller Möglichkeiten innerhalb desselben Konzepts

jedoch nicht sinnvoll. Gemäss Vorgabe sollte mit der Octeon-Struktur 80% des zu erwartenden Marktvolumens abgedeckt werden. Im folgenden mussten daher die Exoten innerhalb der Merkmalsausprägungen identifiziert werden. Die Merkmalsausprägungen wurden deshalb aufgeteilt in solche, die im Rahmen des Konzepts abgedeckt werden, und solche die bewusst zu Sonderanfertigungen mit entsprechenden Kostenfolgen führen. Merkmalsausprägungen, die zu den Exoten zählen, deren Anpassungen sich jedoch auf ein Assembly beschränken, können dennoch innerhalb der Octeon-Struktur umgesetzt werden. Sie wurden jedoch bei der Bestimmung des abgedeckten Marktvolumens nicht berücksichtigt.

Die auf Stufe Merkmal gefällten Vielfaltsentscheide wurden an den erwarteten Marktanforderungen gespiegelt, kostenmässig eingeschätzt und wo nötig korrigiert. Dabei wurde überprüft, dass die geforderten achtzig Prozent Abdeckung bezüglich des Marktvolumens in CHF eingehalten wurden.

Darauf aufbauend wurden die Listen mit Merkmalen und Ausprägungen der Assemblies angepasst. Diejenigen Ausprägungen, welche nicht innerhalb des Octeon-Konzepts abgedeckt werden sollten, wurden gekennzeichnet. Dadurch entstand ein bezüglich Marktabdeckung genau spezifiziertes Konzept, das als Basis für das weitere Vorgehen diente.

5.2.2.4 Erzeugnisgliederung in der Entwicklung

Die Erzeugnisgliederung für die Entwicklung konnte ausgehend von den bestehenden Produkten erarbeitet werden.

Für die Auslegung und Konstruktion der einzelnen Entwicklungseinheiten wurden Teams gebildet, die bereits über eine grosse Erfahrung auf den entsprechenden Gebieten verfügen. Im Rahmen der METUS-Analyse wurden die Funktionen der Lokomotive auf Entwicklungseinheiten heruntergebrochen. Die Abgrenzung der Aufgaben der verschiedenen Entwicklungsteams wurde auf dieser Ebene vorgenommen. Eine detaillierte Aufstellung im Sinne einer Aufgabenstruktur-Matrix erübrigte sich, weil die Möglichkeit zur parallelen Entwicklung der Baugruppen bereits durch Erfahrungen

aus früheren Projekten geschaffen worden war[1]. Übergeordnete Design Parameter wurden für die ganze Octeon-Plattform festgelegt, wo dies möglich und nötig war. Weitere Vorgaben ergeben sich aus den Spezifikationen in den Lastenheften der Kundenprojekte.

Die nötigen Absprachen bezogen sich nicht nur auf Schnittstellen im Sinne des Austauschs von Energie, Information oder Materie[2], sondern auf alle Arten der gegenseitigen Beeinflussung von Elementen. Beispielsweise beeinflusst das Drehgestell den Lokkasten nicht nur durch die direkte Schnittstelle. An der Unterkante des Lokkastens muss eine seitliche Aussparung vorgesehen werden, damit bei enger Kurvenfahrt und entsprechender Auslenkung des Drehgestells die Räder nicht am Lokkasten anstossen.

5.2.2.5 Montageorientierte Erzeugnisgliederung

Basierend auf den Erfahrungen mit früheren Projekten wurde die Montagestruktur im Rahmen des Octeon-Projektes optimiert. Dabei wurde insbesondere Wert darauf gelegt, vormontierbare und vorprüfbare Einheiten zu schaffen und die Durchlaufzeit zu verkürzen.

Im Rahmen von interdisziplinären Arbeitssitzungen mit Experten aus allen betroffenen Bereichen wurde die Gliederung des Produktes für die Endmontage erarbeitet. Daraus entstanden insgesamt 17 Assemblies, die in der Endmontage verbaut werden. Diese Assemblies wurden weiter in Pre-Assemblies und Module untergliedert, denen die einzelnen Funktions- und Montageelemente der Basisabbildung zugeordnet wurden. Dabei wurde unter anderem darauf geachtet, dass die Anzahl der zu handhabenden Teile möglichst gering bleibt, und dass ein möglichst hoher Anteil an handelsüblichen Teilen eingesetzt werden kann.

Das geometrische Layout der Lokomotive wurde so festgelegt, dass es für sämtliche Produktvarianten weitgehend einheitlich ist. Dies wurde unter anderem deshalb mög-

---

[1] Die Lokomotiven verfügen bereits über eine modulare Aufgabenstruktur, wie diese in Kapitel 4.2.4.1 beschrieben wurde.

[2] Vgl. Koller (1985), S. 26.

lich, weil die Stromrichter durch den technischen Fortschritt bedeutend kompakter geworden sind, so dass frühere Platz- und Masseprobleme heute weitgehend gelöst sind.

In einem weiteren Schritt wurden die Schnittstellen zwischen den Assemblies definiert. Die Beschreibung umfasst alle relevanten Informationen zur Schnittstelle, wie zum Beispiel Angaben zur Verkabelung, Verrohrung und Befestigung. Die einzelnen Assemblies wurden als selbsttragende Baugruppen ausgestaltet, um die Anzahl der assemblyübergreifenden Abhängigkeiten möglichst tief zu halten.

5.2.2.6 Erzeugnisgliederung für Belange des Vertriebs

Lokomotiven sind hochkomplexe Produkte, deren detailliertes Verständnis das Fassungsvermögen einer einzelnen Person übersteigt. Die Lastenhefte, welche im Rahmen des Tenderverfahrens eingesetzt werden, umfassen üblicherweise einige hundert Seiten. Es stellt sich daher das Problem, dass nicht das gesamte Produkt-Know-how in die Verkaufsverhandlung eingebracht werden kann, was zu suboptimalen Vertragsabschlüssen führen kann.

Im Rahmen des Octeon-Projektes wurde deshalb die Produktstruktur in einem computergestützten Konfigurator abgebildet. Dadurch konnte das technische Fachwissen näher an die Verkaufsfront gebracht werden. Durch den Einsatz eines Konfigurators kann ein Produkt angeboten werden, das zu einem grossen Teil durch das Octeon-Konzept abgedeckt wird und dennoch alle Kundenanforderungen optimal erfüllt.

Zudem konnte durch den Einsatz des Konfigurators die Angebotserstellung beschleunigt werden. Während traditionellerweise das Lastenheft den verschiedenen Projektierungsabteilungen zur Prüfung übergeben wurde, können heute bereits mit Hilfe des Konfigurators Abweichungen vom Standard ermittelt werden. Abklärungen sind deshalb nur noch in den nicht-standard Bereichen notwendig.

Zur Erfassung der physischen Produktstruktur im Konfigurator wurde auf die Basisabbildung der Elemente zurückgegriffen. In einem ersten Schritt wurden alle Varianten der rund 130 Elementtypen durch Merkmalsausprägungen beschrieben. In einem nächsten Schritt wurde die Abfragehierarchie der Merkmale festgelegt. Lokomotivweit

gültige Merkmale, wie beispielsweise die Fahrdrahtspannung, werden übergeordnet abgefragt und auf die Assemblies vererbt.

5.2.3 Produktstruktursicherung

Die Einhaltung der Produktstrukturvorgaben des Octeon-Konzepts wird organisatorisch durch das sogenannte Center of Expertise Elektrolokomotiven und Triebköpfe sichergestellt.

Sämtliche produktstrukturbezogenen Daten sind in einem PDM-System abgelegt. Durch die Definition von Zugriffs- und Änderungsrechten wird sichergestellt, dass Änderungen in der Produktstruktur nur durch die eindeutig bestimmte, berechtigte Stelle vorgenommen werden können. Zugleich ist das Produktstrukturwissen durch die Dokumentation im PDM-System weniger personengebunden als früher.

5.3 Ergebnisse des Octeon-Projektes

Gegenüber dem konventionellen Lokomotivkonzept ergaben sich aus dem Octeon-Konzept verschiedene Vorteile.

- Die Assemblies müssen nicht mehr projektspezifisch angepasst werden, sondern können über verschiedene Projekte unverändert eingesetzt werden.
- Das Lokomotivlayout bleibt für alle Lokomotivvarianten weitgehend unverändert, wodurch auftragsbezogene Einmalkosten gespart werden können.
- Das Octeon-Plattformkonzept ist nicht technologieabhängig. Technologische Fortschritte einzelner Assemblies können umgesetzt werden, ohne dass assemblyübergreifende Änderungen notwendig werden. So wird den unterschiedlichen Technologiezyklen der Komponenten Rechnung getragen.
- Die Wartbarkeit wurde durch gute Zugänglichkeit und Steckverbindungen zwischen den Baugruppen verbessert. Komponenten sind einfacher auszutauschen, wodurch die Verfügbarkeit erhöht wurde.

- Die Durchlaufzeit in der Montage konnte verkürzt werden. Für Vormontage, Endmontage und Inbetriebsetzung einer ganzen Lokomotive inklusive Prüfung wird eine Verkürzung von bisher 14 Wochen auf 12 Wochen erwartet.
- Die Gesamtkosten einer Lokomotive konnten durch das Octeon-Konzept um durchschnittlich 18% gesenkt werden. Ein Teil dieser Kosteneinsparungen ist allerdings auf den normalen technischen Fortschritt zurückzuführen. Eine eindeutige Zuordnung von Kosteneinsparungen auf einzelne Faktoren ist aufgrund der komplexen Zusammenhänge schwierig. Es kann jedoch gesagt werden, dass sich die Einsparungen durch das Plattformkonzept hauptsächlich auf die auftragsbezogenen Einmalkosten auswirken, während die technischen Neuerungen primär die Materialeinzelkosten positiv beeinflussen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Viele Unternehmen sehen sich heute mit einer stark wachsenden Komplexität konfrontiert. Bei den Produkten werden immer kürzere Innovationszyklen bei steigenden Variantenzahlen festgestellt. In vielen Bereichen herrscht ein Verdrängungswettbewerb, der von fallenden Preisen begleitet wird. Kurze Entwicklungszeiten und minimale Durchlaufzeiten in der Produktion werden zunehmend überlebensnotwendig. Kunden erwarten in zunehmendem Mass, dass ihre Erwartungen massgeschneidert und zeitgerecht erfüllt werden. In diesem Umfeld bilden eine geeignete Produktstruktur und zweckmässige Erzeugnisgliederungen Schlüsselfaktoren zum Erfolg.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde deshalb ein Konzept zur Produktstrukturierung entwickelt, welches den verschiedenen Ansprüchen Rechnung trägt. In einem ersten Teil wurde festgestellt, dass das Verständnis des Produktstrukturbegriffs heute uneinheitlich ist. Der Begriff der Produktstruktur wurde definiert und insbesondere klar abgegrenzt. Es wurde festgestellt, dass zwischen der physischen Produktstruktur mit ihrer Abbildung, sowie den Erzeugnisgliederungen unterschieden werden muss. Die grundlegenden Eigenschaften von Produktstrukturen wurden untersucht und die Möglichkeiten zur Steuerung aufgezeigt. Basierend auf den Eigenschaften wurden Kenngrössen eingeführt, welche eine Charakterisierung der Produktstruktur erlauben. Im weiteren wurde festgestellt, dass eine Typisierung von Produktstrukturen keine Ableitung von Handlungsanweisungen ermöglicht.

In einem zweiten Teil wurden bestehende Ansätze zur Strukturierung untersucht und kritisch beurteilt. Es wurde festgestellt, dass eine Vielzahl von Vorgehensweisen und Methodenbausteinen besteht, von denen jedoch keiner alle Aspekte der Produktstrukturierung hinreichend abdeckt.

Basierend auf dieser Erkenntnis wurde in einem nächsten Teil im Rahmen eines Produktstrukturmanagements ein Ansatz zur Produktstrukturierung und Erzeugnisgliederung entwickelt, der bestehende und neue Methodenbausteine verbindet. Die vielfältigen Verflechtungen und Abhängigkeiten der Produktstruktur im Unternehmenszusammenhang, sowie die Möglichkeiten zur Nutzenstiftung durch die Produktstruktur wurden aufgezeigt und vorbereitende Schritte der Produktstrukturierung erläutert.

Für die operative Bestimmung der physischen Produktstruktur wurden Methodenbausteine zur Bestimmung der benötigten Vielfalt, sowie zur Abgrenzung der Elemente vorgestellt.

Eine physische Produktstruktur muss für verschiedene Verwendungszwecke auf verschiedene Arten in Erzeugnisgliederungen umgesetzt werden. In der Entwicklung steht die Abgrenzung der Aufgabenbereiche einzelner Teams im Vordergrund. Durch eine geeignete Gliederung wird eine parallele Entwicklung der physischen Struktur ermöglicht, und der Abstimmungsaufwand zwischen verschiedenen Teams kann reduziert werden. Bei der montageorientierten Gliederung wird der Schwerpunkt auf eine möglichst kurze Durchlaufzeit und eine hohe Qualität gelegt. Dies wird durch Auslagern von Montageschritten aus der Endmontage in Vormontageschritte erreicht, wobei die Vormontageeinheiten so gebildet werden, dass sie vor der Endmontage geprüft werden können. Für den Vertrieb wird das Produkt so gegliedert, dass bei einer möglichst geringen Anzahl von Artikelnummern eine sinnvolle Konfiguration und ein angemessenes Controlling ermöglicht wird.

Keine noch so gut abgestimmte Produktstruktur und Erzeugnisgliederung kann langfristig bestehen, wenn nicht die notwendigen organisatorischen Massnahmen zu deren Sicherung getroffen werden. Dazu gehört, dass Produktänderungen unter Einhaltung der Produktstrukturrichtlinien durchgeführt werden. Ausserdem muss die Veränderung der Produktstruktur periodisch mit geeigneten Mitteln überwacht werden. Nicht zuletzt müssen Massnahmen getroffen werden, um das Produktstrukturwissen explizit zu machen und zu speichern. Damit wird verhindert, dass wertvolles Wissen verloren geht und neu erarbeitet werden muss.

Das Gebiet der Produktstrukturierung ist vielschichtig und komplex. Durch die vielseitigen Abhängigkeiten zwischen Produktstruktur und Unternehmen, ist es ausserordentlich schwierig allgemeingültige Aussagen und Verhaltensregeln zu treffen. Vielmehr muss die Situation fallweise beurteilt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Management von Komplexität in einem Unternehmen eng mit dem Management von Produktstrukturen verknüpft ist. Je komplexer die Situation wird, desto wichtiger ist ein geeignetes und systematisches Management der Produktstruktur.

Literaturverzeichnis

ANDREASEN, M. M. / KÄHLER, S. / LUND, T. (1985):
Montagegerechtes Konstruieren, Berlin / Heidelberg / New York / Tokyo: Springer Verlag, 1985, ISBN 3-5540-15434.

ASHBY, W. R. (1974):
Einführung in die Kybernetik, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1974.

BALDWIN, C. Y. / CLARK, K. B. (1997):
Managing in an Age of Modularity, in: Harvard Business Review, September-October, 1997, S. 84-93.

BALDWIN, C. Y. / CLARK, K. B. (1999):
Design Rules: The Power of Modularity, Boston: MIT Press, erscheint 1999.

BÄSSLER, R. / SCHMAUS, T. (1986):
Montagegerechte Produktgestaltung, in: Industrieanzeiger, 108, Nr. 63/64, 1986, S. 33-36.

BECK, A. (1998):
Am Steuer des Volvo S 80, in: Neue Zürcher Zeitung, 219. Jahrgang, Nr. 172, 28. Juli 1998, S. 7.

BEREKOVEN, L. / ECKERT, W. / ELLENRIEDER, P. (1989):
Marktforschung – Methodische Grundlagen und praktische Anwendungen, 4. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1989, ISBN 3-409-36985-6.

BERNER, W. (1988):
Systematisches Gliedern komplexer technischer Systeme, Dissertation TH Aachen, 1988.

BIEGERT, H. (1971):
Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip, Karlsruhe: Dissertation, 1971.

BIROLINI, A. (1991):
Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme, Berlin / Heidelberg / New York: Springer Verlag, 1991, ISBN 3-540-54067-9.

BOOTHROYD, G. / DEWHURST, P. / KNIGHT, W. (1994):
Product Design for Manufacture and Assembly, New York / Basel / Hong Kong: Marcel Dekker Inc., 1994, ISBN 0-8247-9176-2.

BÜDENBENDER, W. (1991):
Ganzheitliche Produktionsplanung- und steuerung, Berlin, 1991.

BUGGERT, W. / WIELPÜTZ, A. (1995):
Target Costing – Grundlagen und Umsetzung des Zielkostenmanagements, München / Wien: Hanser, 1995, ISBN 3-446-18043-5.

CAESAR, C. (1991):
Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte (VMEA), Dissertation, RWTH Aachen, 1991.

CHEN, W. / ROSEN, D. / ALLEN, J. K. / MISTREE, F. (1994):
Modularity and the Independence of Functional Rquirements in Designing Complex Systems, in: Concurrent Product Design, ASME, 74, S. 31-38.

COENENBERG, A. G. (1996):
Lebenszykluskostencontrolling, in: Eversheim, W. / Schuh, G. (Hrsg.), Betriebshütte – Produktion und Management, 7. Auflage, Berlin / Heidelberg / New York: Springer Verlag, 1996, ISBN 3-540-59360-8, Kap. 8.1.7.5, S. 8–43-8–46.

DAHL, B. (1990):
Entwicklung eines Konstruktionssystems zur Unterstützung der montagegerechten Produktgestaltung, Dissertation TH Aachen, 1990.

DICHTL, E. / ISSING, O. [HRSG.] (1993):
Vahlens grosses Wirtschaftslexikon, Band 2, München: Vahlen, 1993, ISBN 3-8006-1698-X.

DILLING, H.-J. (1978):
Methodisches Rationalisieren von Fertigungsprozessen am Beispiel montagegerechter Produktgestaltung, Dissertation TH Darmstadt, 1978.

DOSE, M. et al. (1990):
Duden Fremdwörterbuch, 5. Auflage, Mannheim / Wien / Zürich: Dudenverlag, 1990, ISBN 3-411-20915-1.

DOVE, R. (1995 a):
Introducing Principles for Agile Systems, in: Production Magazine, August, 1995.

DOVE, R. (1995 b):
Design Principles for Agile Production, in: Production Magazine, December, 1995.

DYCKHOFF, H: (1992):
Betriebliche Produktion – Grundlagen einer umweltorientierten Produktionswirtschaft, Berlin / Heidelberg / New York: Springer, 1992, ISBN 3-540-55788-1.

EHRLENSPIEL, K. (1995):
Integrierte Produktentwicklung: Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion, München: Hanser, 1995, ISBN 3-446-15706-9.

EPPINGER, S. D. / WHITNEY, D. E. / SMITH, R. P. / GEBALA, D. A. (1994):
A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development, in: Research in Engineering Design, 6, 1994, S. 1-13.

ERIXON, G. (1998):
Modular Function Deployment – A Method for Product Modularisation, Stockholm: The Royal Institute of Technology, 1998, ISSN 1104-2141.

EVERSHEIM, W. (1989 a):
Organisation in der Produktionstechnik, Band 3: Arbeitsvorbereitung, 2., neubearbeitete Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989, ISBN 3-18-400840-1.

EVERSHEIM, W. (1989 b):
Organisation in der Produktionstechnik, Band 4: Fertigung und Montage, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989, ISBN 3-18-400841-X.

EVERSHEIM, W. (1990 a):
Organisation in der Produktionstechnik, Band 1: Grundlagen, 2., neubearbeitete Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1990, ISBN 3-18-400934-3.

EVERSHEIM, W. (1990 b):
Organisation in der Produktionstechnik, Band 2: Konstruktion, 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1990, ISBN 3-18-400979-3.

EVERSHEIM, W. [HRSG.] / BOCHTLER, W. / LAUFENBERG, L. (1995):
Simultaneous Engineering – Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie, Berlin / Heidelberg / New York: Springer, 1995, ISBN 3-540-57882-X.

EVERSHEIM, W. / BÖHMER, D. / MÜLLER, S. / TRAENCKNER, J. (1990):
Rationalisierungspotentiale nutzen, in: Industrieanzeiger, 112, Nr. 68, 1990, S. 10-12.

EVERSHEIM W. / KLEVERS, T. et al. (1993):
Rechnerunterstützter Vertrieb auf Basis einer Produktstruktur, in: ZwF Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 88., Nr. 7-8, 1993, S. 327-329.

EVERSHEIM, W. / KRAUSE, F.-L. (1996):
Produktgestaltung, in: Eversheim, W. / Schuh, G. (Hrsg.), Betriebshütte – Produktion und Management, 7. Auflage, Berlin / Heidelberg / New York: Springer Verlag, 1996, ISBN 3-540-59360-8, S. 7–26-7-72.

EVERSHEIM W. / SCHUH, G. [HRSG.] (1996):
Betriebshütte – Produktion und Management, 7., neu bearbeitete Auflage, Berlin / Heidelberg / New York: Springer Verlag, 1996, ISBN 3-540-59360-8.

EVERSHEIM W. / SCHUH, G. / CAESAR, C. (1988):
Variantenvielfalt in der Serienproduktion, in: VDI-Zeitung, 130, Nr.12, 1988, S. 45-49.

FEITZINGER, E. / LEE, H. L. (1997):
Mass Customization at Hewlett Packard: The Power of Postponement, in: Harvard Business Review, January/February, 1997, S. 116-121.

GARTNER, M. S. (1993):
Entwicklung eines Montageplanungssystems für Module in der PKW-Produktion, Dissertation TU Wien, 1993.

GILBERT, X. / STREBEL, P. J. (1986):
Der Konkurrenz immer ein Nasenlänge voraus – Flexibilität dank Überholstrategien, in: Politik und Wirtschaft, 1, Nr. 6, 1986, S. 61-64.

GLASER, H. et al. (1991):
PPS – Produktionsplanung und -steuerung, Wiesbaden: Gabler, 1991.

GÖTTKER, A. (1990):
Teilefamilienbildung – Vergleich rechnergestützter Verfahren, Dissertation, Universität Dortmund, Köln: Verlag TÜV Rheinland,1990, ISBN 3-88585-850-9.

GROOS, S. A. (1997):
Integriertes Zielkostenmanagement: Ausrichtung der Variantenvielfalt auf die Kundenbedürfnisse durch Leistungssysteme im Business-to-Business-Markt, Dissertation an der Universität St. Gallen, Dissertation Nr. 2052, 1997.

GROSS, M. (1990):
Planung der Auftragsabwicklung komplexer, variantenreicher Produkte, Dissertation an der RWTH Aachen, 1990.

GUNZINGER, A. et al. (1992):
Achieving Super Computer Performance with a DSP Array Processor, in: International Conference on Supercomputing, Minneapolis, Nov. 16-20, 1992.

HABENICHT, W. (1996):
Teilefamilienbildung, in: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre Bd. 7, 2., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, ISBN 3-7910-8044-X, Sp. 2040-2050.

HAHN, D. / LASSMANN, G. [HRSG.] (1990):
Produktionswirtschaft – Controlling industrieller Produktion, Band 1, 2. Auflage, Heidelberg: Physica, 1990, ISBN 3-7908-0464-9.

HAMMANN, P. / ERICHSON, B. (1990):
Marktforschung, 2. Auflage, Stuttgart / New York: UTB Fischer, 1990, ISBN 3-437-40169-6.

HENDERSON, B. D. (1984):
Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie, 2. Auflage, Frankfurt / New York: Campus, 1984, ISBN 3-593-32086-X.

HENNESSY, J. L. / PATTERSON, D. A. (1990):
Computer Architecture – A Quantitative Approach, San Mateo CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1990, ISBN 1-55880-069-8.

HICHERT, R. (1985):
Probleme der Vielfalt, Teil 1: Soll man auf Exoten verzichten?, in: wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung, 75, 1985, S. 235-237.

HICHERT, R. (1986 a):
Probleme der Vielfalt, Teil 2: Was kostet eine Variante?, in: wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung, 76, 1986, S. 141-145.

HICHERT, R. (1986 b):
Probleme der Vielfalt, Teil 3: Was bestimmt die optimale Erzeugnisvielfalt?, in: wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung, 76, 1986, S. 673-676.

HICHERT, R. (1987):
Probleme der Vielfalt, Teil 4: Erzeugnisvielfalt im Wettbewerbsvergleich, in: wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung, 77, 1987, S. 223-227.

JANTSCH, E. (1994):
Struktur, in: Seiffert, H. / Radnitzky, G. (Hrsg.), Handlexikon zur Wissenschaftstheorie, 2. Auflage, München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1994, ISBN 3-423-04586-8.

KAISER, A. (1995):
Integriertes Variantenmanagement mit Hilfe der Prozesskostenrechnung, Dissertation, Universität St. Gallen, Dissertation Nr. 1742, 1995.

KANO, N. / SERAKU, N. / TAKAHASHI, F. / TSUJI, S. (1984):
Attractive Quality and Must be Quality, in: Quality Journal, 14, Nr. 2, 1984, S. 39-48.

KERN, W. [HRSG.] (1996):
Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre Band 7, 2. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, ISBN 3-7910-8044-X.

KLUGE, J. et al. (1994):
Wachstum durch Verzicht – schneller Wandel zur Weltklasse: Vorbild Elektronikindustrie, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1994, ISBN 3-7910-0878-1.

KÖSTER, O. (1998):
Strategische Disposition – Konzept zur Bewältigung des Spannungsfeldes Kundennähe, Komplexität und Effizienz im Leistungserstellungsprozess, Dissertation an der Universität St. Gallen, Schesslitz: Rosch-Buch, 1998.

KOLLER, R. (1985):
Konstruktionslehre für den Maschinenbau, 2., völlig neu bearbeitete Auflage, Berlin / Heidelberg / New York / Tokyo: Springer Verlag, 1985, ISBN 3-540-15369-1.

KOTLER, P. / BLIEMEL, F. (1995):
Marketing-Management: Analyse, Planung, Umsetzung und Steuerung, 8.,vollständig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart: Schaeffer-Poeschel, 1995, ISBN 3-7910-0882-X.

KROMREY, H. (1995):
Empirische Sozialforschung, 7. Auflage, Opladen: Leske + Budrich, 1995, ISBN 3-8100-1539-3.

KUCHER, E. / SIMON, H. (1987):
Conjoint-Measurement – Durchbruch bei der Preisentscheidung, in: Harvard Manager, 9, Nr. 3, 1987, S. 28-36.

KÜHBORTH, W. (1986):
Baureihen industrieller Erzeugnisse zur optimalen Nutzung von Kostendegression, Inaugural-Dissertation, Universität Mannheim, 1986.

LANGLOIS, R. N. / ROBERTSON, P. L. (1992):
Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Components Industries, in: Research Policy, 21, August 1992, S. 297-313.

LAKER, M. (1995):
Produkt- / Preisstrategie und Target Costing – Preisgestaltung des Produkts methodisch variieren, in: Technische Rundschau, 87, Nr. 29/30, 1995, S. 14-19.

LINGNAU, V. (1994):
Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie, Berlin: Erich Schmidt, 1994, ISBN 3-503-03619-9.

LUCZAK, H. / FRICKER, A. (1997):
Komplexitätsmanagement – ein Mittel der strategischen Unternehmensgestaltung, in: Schuh, G. / Wiendahl, H.-P. (Hrsg.), Komplexität und Agilität – Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Walter Eversheim, Berlin / Heidelberg: Springer, 1997, S. 311-323.

MARTIN, M. V. / ISHII, K. (1997):
Design for Variety – Development of Complexity Indices and Design Charts, Proceedings of DETC '97, ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC97 / DFM-4359, September 14-17, Atlanta, 1997.

MAYER, R. (1993):
Strategien erfolgreicher Produktgestaltung – Individualisierung und Standardisierung, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1993, ISBN 3-8244-0189-4.

McGRATH, M. E. (1995):
Product Strategy for High-Technology Companies: How to achieve growth, competitive advantage, and increased profits, New York: McGraw-Hill, 1995, ISBN 0-7863-0146-5.

MEFFERT, H. (1992):
Marketingforschung und Käuferverhalten, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1992, ISBN 3-409-23606-6.

MEYER, M. H. / LEHNERD, A. P. (1997):
The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership, New York: The Free Press, 1997, ISBN 0-684-82580-5.

MEYER, M. H. / UTTERBACK, J. M. (1993):
The Product Family and the Dynamics of Core Capability, in: Sloan Management Review, Spring 1993, S. 29-46.

MÜLLER, U. A. et al. (1992):
Achieving Supercomputer Performance for a Neural Net Simulation with an Array of Digital Signal Processors, in: IEEE Micro, October, 1992, S. 55-65.

MÜLLER, W. [HRSG.] (1985):
Duden Bedeutungswörterbuch, 2. Auflage, Mannheim / Wien / Zürich: Bibliographisches Institut, 1985, ISBN 3-411-20911-9.

NONAKA, I. / TAKEUCHI, H. (1995):
The Knowledge-Creating Company – How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation, New York / Oxford: Oxford University Press, 1995, ISBN 0-19-509269-4.

OTTENBRUCH, P. (1989):
Entwicklung eines Systems zur Unterstützung der Konzept- und Entwurfsphase, vertieft am Beispiel der Bearbeitung von Norm- und Zukaufteilen, Dissertation TH Aachen, 1989.

O. V. (1997):
Gablers Wirtschafts-Lexikon, Band 3, Wiesbaden: Gabler, 1997, ISBN 3-409-32997-8.

PAHL, G. / BEITZ, W. (1997):
Konstruktionslehre – Methoden und Anwendungen, 4. Auflage, Berlin/Heidelberg: Springer, 1997, ISBN 3-540-61974-7.

PINE, B. J. II (1994):
Massgeschneiderte Massenfertigung: Neue Dimensionen im Wettbewerb, Wien: Wirtschaftsverlag Überreuter, 1994, ISBN 3-901260-66-8.

POPPER, K. R. (1979):
Die Logik der Sozialwissenschaften, in: Adorno, Th. W.(Hrsg.): Der Positivismusstreit in der deutschen Soziologie, 9. Auflage, Darmstadt: Luchterhand Verlag, 1979, ISBN 3-472-61072-7, S. 103-123.

PORTER, M. E. (1996): :
Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten, 4., durchgesehene Auflage, Frankfurt a. M.: Campus Verlag, 1996, ISBN 3-593 34144-1.

PORTER, M. E. (1997):
Wettbewerbsstrategie – Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten, 9. Auflage, Frankfurt a. M. / New York: Campus Verlag, 1997, ISBN 3-593-33266-3.

PRAHALAD, C. K. / HAMEL, G. (1991):
Nur Kernkompetenzen sichern das Überleben, in: Harvard Manager, 2, 1991, S. 66-78.

PRIM, R. / TILMAN, H. (1997):
Grundlagen einer kritisch-rationalen Sozialwissenschaft, 7., erweiterte und überarbeitete Auflage, Wiesbaden: Quelle und Meyer, 1997, ISBN 3-494-02229-1.

RAPP, T. (1994):
Hochleistungsstromrichter mit GTO-Thyristoren für Vollbahntriebfahrzeuge mit Drehstromantrieb, Zürich: ABB Verkehrssysteme AG, Druckschrift Nr. CHVEK 1810 D, 1994.

RAPP, T. (1995):
High-Power GTO Converters for Tractive Units with Three-Phase AC-Propulsion, in: ABB Review 4/95, 1995.

RATHNOW, P. J. (1993):
Integriertes Variantenmanagement: Bestimmung, Realisierung und Sicherung der optimalen Produktvielfalt, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1993, ISBN 3-525-12569-0.

ROBERTSON, D. / ULRICH, K. (1998):
Planning for Product Platforms, in: Sloan Management Review, Summer, 1998, S. 19-31.

ROEVER, M. (1991 a):
Tödliche Gefahr, in: Manager Magazin, Nr. 10, 1991, S. 218-233.

ROEVER, M. (1991 b):
Goldener Schnitt, in: Manager Magazin, Nr. 11, 1991, S. 253-264.

ROEVER, M. (1991 c):
Kettenreaktion, in: Manager Magazin, 12, 1991, S. 243-249.

ROMMEL, G. / BRÜCK, F. / DIEDERICHS, R. / KEMPIS, R. / KLUGE, J. (1993):
Einfach überlegen – Das Unternehmenskonzept, das die Schlanken schlank und die Schnellen schnell macht, Stuttgart: Schäffer-Poeschel,1993, ISBN 3-7910-0677-0.

SABISCH, H. (1996):
Produkte und Produktgestaltung, in: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre Bd. 7, 2., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, ISBN 3-7910-8044-X, Sp. 1439-1451.

SANCHEZ, R. (1996):
Managing New Interactions of Technology, Markets, and Organizations, in: European Management Journal, 14, Nr. 2, April 1996, S. 121-138.

SANDERSON, S. / UZUMERI, M. (1995):
Managing product families: The case of the Sony Walkman, in: Research Policy, 24, 1995, S. 761-782.

SCHALLER, U. (1980):
Ein Beitrag zur vorteilhaften Erzeugnisgliederung bei variantenreicher Serienfertigung im Maschinenbau, Dissertation, RWTH Aachen, 1980.

SCHUBERT, B. (1991):
Entwicklung von Konzepten für Produktinnovationen mittels Conjoint Analyse, Stuttgart: Poeschel, 1991, ISBN 3-7910-0543.

SCHUH, G. (1989):
Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten: Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2: Fertigungstechnik, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989, ISBN 3-18-147702-8.

SCHUH, G. / CAESAR, C. (1989):
Variantenoptimierte Produktgestaltung – Standardisierung und Modularisierung von Serienprodukten, in: Konstruktion, 41, Nr. 6, 1989, S. 207-211.

SCHUH, G. / SCHWENK, U. / SPETH, C. (1998):
Komplexitätsmanagement im St. Galler Management-Konzept, in: io Management Zeitschrift, 67, Nr. 3, 1998, S. 78-85.

SCHUH, G. / STEINFATT, E. (1993):
Konstruktionsbegleitende Prozesskostenrechnung, in: ZwF Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, 88, Nr. 7-8, 1993, S. 344-346.

SCHUH, G. / TANNER, H. R. (1995):
Wohin bewegt sich das Kostenmanagement? in: Technische Rundschau, 87, Nr. 24, 1995, S. 36-39.

SCHUH, G. / WIENDAHL, H.-P. [HRSG.] (1997):
Komplexität und Agilität – Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Walter Eversheim, Berlin / Heidelberg: Springer, 1997.

STALK, G. / HOUT, T.M. (1992):
Zeitwettbewerb: Schnelligkeit entscheidet auf den Märkten der Zukunft, 3., durchgesehene Auflage, Frankfurt a. M. / New York: Campus, 1992, ISBN 3-593-34409-2.

STEGERS, W. (1997):
Unterm Blech sind alle gleich!, in: P.M. – Peter Moosleitners interessantes Magazin, Nr. 11, 1997, S. 62-67.

STEINBRECHER, M. (1998):
Vom Nutzen der Systemtheorie für den Produktplanungsprozess in Unternehmen – ein Erfahrungsbericht aus der Praxis, in: Franke, N. / von Braun, C. F. (Hrsg.): Innovationsforschung und Technologiemanagement – Forschung und Praxis im Dialog, Gedenkschrift für Stephan Schrader, Berlin / Heidelberg: Springer, 1998, ISBN 3-540-65198-5, S. 493-502.

STEINFATT, E. / SCHUH G. (1992):
Differenzierte Produktkostenprognosen – Variantenvielfalt als Krankheit, in: Technische Rundschau (Hrsg.): CIM-Wirtschaftlichkeit – strategische und operative Bewertung von CIM-Projekten, Bern: Hallwag, 1992, ISBN 3-444-10399-9, S. 58-64.

STEPPAN, G. (1990):
Informationsverarbeitung im industriellen Vertriebsaussendienst, Computer Aided Selling (CAS), Berlin / Heidelberg / New York: Springer, 1990, ISBN 3-540-52558-0.

STEWARD, D. V. (1981):
The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, in: IEEE Transactions in Engineering Management, EM-28, Nr. 3, August 1981, S. 71-74.

SUZUE, T. / KOHDATE, A. (1990):
Variety Reduction Program – A Production Strategy for Product Diversification, Cambridge, MA: Productivity Press, 1990, ISBN 0-915299-32-1.

TEBOUL, J. (1991):
Managing Quality Dynamics, New York: Prentice Hall, 1991, ISBN 0-13-553462-3.

TSENG, M. M. / JIAO, J. (1998):
Design for Mass Customization by Developing Product Family Architecture, Proceedings of DETC '98, ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC98 / DFM-5717, September 13-16, Atlanta, 1998.

ULRICH, H. (1984):
Management, herausgegeben von Dyllick, T. / Probst, G., Bern: Haupt, 1984, ISBN 3-258-03446-X.

ULRICH, K. (1995):
The role of Product Architecture in the Manufacturing Firm, in: Research Policy, 24, 1995, S. 419-440.

ULRICH, K. / EPPINGER S. D. (1995):
Product Design and Development, Singapore: McGraw-Hill, 1995, ISBN 0-07-113742-4.

ULRICH, K. / TUNG, K. (1991):
Fundamentals of Product Modularity, in: Proceedings of the 1991 ASME Winter Annual Meeting Symposium on Issues in Design/Manufacturing Integration, Atlanta, 1991.

ULRICH, P. / HILL, W. (1979):
Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftlehre, in: Raffée, H. / Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften, München: Vahlen, 1979, ISBN 3-8006-0772-7, S. 161-190.

UNGEHEUER, U. / KALDE, M. (1983):
Montagegerechte Produktgestaltung, in: Industrieanzeiger, 105. Jg., Nr. 92, 1983, S. 14-17.

VDI VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [HRSG.] (1979):
Konstruktionsmethodik: Konzipieren technischer Produkte, VDI 2222, Bl. 1, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1979.

WHEELWRIGHT, S. C. / CLARK, K. B. (1992):
Revolutionizing the Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality, New York: The Free Press, 1992, ISBN 0-02-905515-6.

WIENDAHL, H. P. (1989):
Betriebsorganisation für Ingenieure, 3. Auflage, München / Wien: Hanser, 1989 ISBN 3-446-15604.

WIESE, H. / GEISLER, M. (1996):
Standardisierung, in: Kern, W. (Hrsg.), Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre Bd. 7, 2., völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996, ISBN 3-7910-8044-X, Sp. 1897-1912.

WÜPPING, J. (1993):
Systematische Entwicklung und Nutzung von Baukastensystemen für Wrap-around-Verpackungsmaschinen, Dissertation, Universität Dortmund, 1993.

WÜPPING, J. (1998):
Logistikgerechte Produktstrukturen bei marktorientierter Variantenvielfalt, in: io Management Zeitschrift, 67, Nr. 1/2, 1998, S. 76-81.

ZICH, C. (1996):
Integrierte Typen- und Teileoptimierung – Neue Methoden des Produktprogramm-Managements, Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag, 1996, ISBN 3-8244-6338-5.

ZIMMERMANN, G. (1988):
Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV, Berlin / Heidelberg / New York: Springer Verlag, 1988, ISBN 3-540-19203-4.

Anhang 1: Definitionen

In diesem Abschnitt werden die Bezeichnungen, wie sie zur Beschreibung von Produktstrukturelementen verwendet werden definiert und dargestellt.

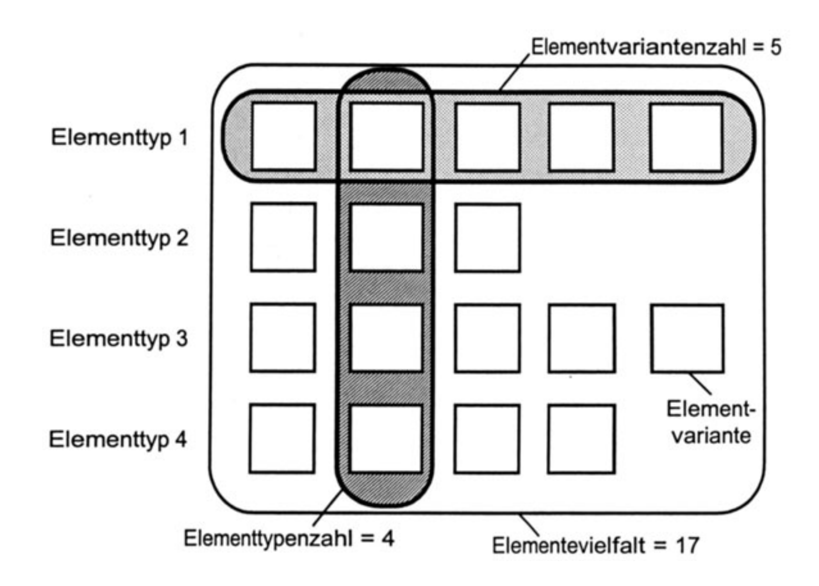


Abb. A1–1: Grössen innerhalb einer Produktfamilie

Elementtyp:
Ein Elementtyp umfasst alle Varianten eines Elementes mit einem bestimmten Funktionsumfang.

Elementtypenzahl:
Die Elementtypenzahl gibt Auskunft darüber, wieviele unterschiedliche Elementtypen in einem Produkt vorkommen können.

Elementvariante:
Eine Elementvariante entspricht einer spezifischen Ausprägung eines Elements innerhalb eines Elementtyps.

Elementvariantenzahl:
Die Elementvariantenzahl entspricht der Anzahl Elementvarianten innerhalb eines Elementtyps.

Elementevielfalt:
Die Elementevielfalt ist die Summe der Elementvarianten über alle Elementtypen.

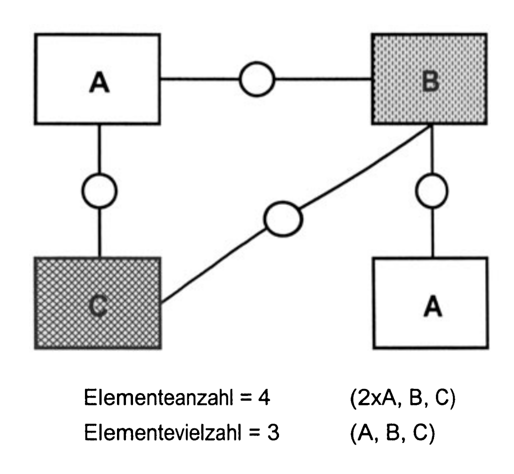


Abb. A1–2: Grössen innerhalb einer Endproduktvariante

Elementeanzahl:
Gibt an, aus wievielen Elementen eine spezifische Endproduktvariante insgesamt zusammengesetzt ist.

Elementevielzahl:
Gibt an, aus wievielen unterschiedlichen Elementen eine spezifische Endproduktvariante zusammengesetzt ist.

Anhang 2: Kostenaspekte der Anzahl Ausprägungen

In der betrieblichen Praxis stellt sich häufig die Frage, wie sich die Anzahl der Ausprägungen eines Produktmerkmals auf die Kosten auswirkt. Im folgenden werden einige Überlegungen angestellt, auf deren Grundlage die kostenoptimale Anzahl Merkmalsausprägungen gefunden werden kann.

Als Voraussetzung muss bekannt sein, welches die grösste und welches die kleinste geforderte Ausprägung des betrachteten Parameters ist. Zudem muss Information darüber verfügbar sein, in welcher Gesamtstückzahl k das Produkt über die ganze Leistungsbandbreite verkauft werden kann. Es wird angenommen, dass die Nachfrage unelastisch gegenüber der Anzahl Intervalle des Parameters ist, weil der Kunde immer mindestens die von ihm geforderte Leistung erhält. Die gesamte nachgefragte Stückzahl ist also konstant und verteilt sich auf die angebotenen Intervalle. Jedes zusätzliche Intervall kannibalisiert die Stückzahlen der bestehenden Intervalle[1]. Als weitere Vereinfachung wird angenommen, dass die nachgefragten Werte des Parameters gleichverteilt sind.

In einem ersten Schritt wird der Verlauf der Kosten durch Überdimensionierung in Abhängigkeit der Anzahl Intervalle modelliert.

Im einen Extremfall wird die gesamte Bandbreite der geforderten Leistung mit nur einer Ausprägung abgedeckt. Das heisst, dass jeder Kunde unabhängig von seinen Ansprüchen immer mit der leistungsfähigsten Ausprägung versorgt wird. Natürlich kann diese Überdimensionierung dem Kunden nicht verrechnet werden, was zu erhöhten proportionalen Kosten führt.

Der zweite Extremfall wäre die Bildung von unendlich vielen Intervallen, was einer genauen Auslegung auf jeden möglichen Anwendungsfall entspricht. In diesem Fall wäre keinerlei Überdimensionierung zu bezahlen und jeder Kunde würde exakt die Leistung erhalten, die er auch bezahlt.

Vereinfachend wird angenommen, dass die proportionalen Kosten eines Produktes linear von der Leistung des betrachteten Parameters abhängig sind, und dass jedes

[1] Vgl. zum Effekt der Kannibalisierung McGrath (1995), S. 175-189, sowie Kaiser (1995), S. 103.

Intervall dieselbe Breite aufweist. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich die Kosten der Überdimensionierung in Funktion der Anzahl Intervalle berechnen.

In Abb. A2-1 entspricht die schattierte Fläche den im Durchschnitt zusätzlich entstehenden Kosten durch Überdimensionierung für den Fall, dass die Anzahl gebildeter Intervalle n gleich drei ist. Wird das Produkt immer auf den genauen Wert des Parameters dimensioniert, wie ihn der Kunde wünscht, verlaufen die Einzelkosten in Funktion des Parameters entlang der Geraden AB. Wenn ein Kunde aus der angebotenen Bandbreite des Parameters den Wert W wählt, so sind die Einzelkosten bei kundenspezifischer genauer Dimensionierung gerade gleich c_s. Im gezeichneten Fall ist der Wert K nicht erhältlich, und der Kunde erhält automatisch den nächst grösseren verfügbaren Wert. In unserem Fall ist dies der Wert G, der gerade auch dem grössten Wert entspricht. Die tatsächlichen Kosten entsprechen also dem Wert c_i, die Kosten der Überdimensionierung der Strecke $c_s c_i$. Die Überdimensionierungskosten werden über die Bandbreite einer Variante des Parameters integriert und mit der Stückzahl k multipliziert. Daraus erhält man die gesamten Überdimensionierungskosten $c_ü$:

$$c_ü(n) = \frac{k}{n^2} \cdot \frac{c_g - c_k}{2}$$

$c_ü$	:	Gesamtkosten der Überdimensionierung
k	:	Gesamtstückzahl
n	:	Anzahl Intervalle des Parameters
c_g	:	Proportionale Kosten für ein Produkt mit der grössten Ausprägung des Parameters
c_k	:	Proportionale Kosten für ein Produkt mit der kleinsten Ausprägung des Parameters

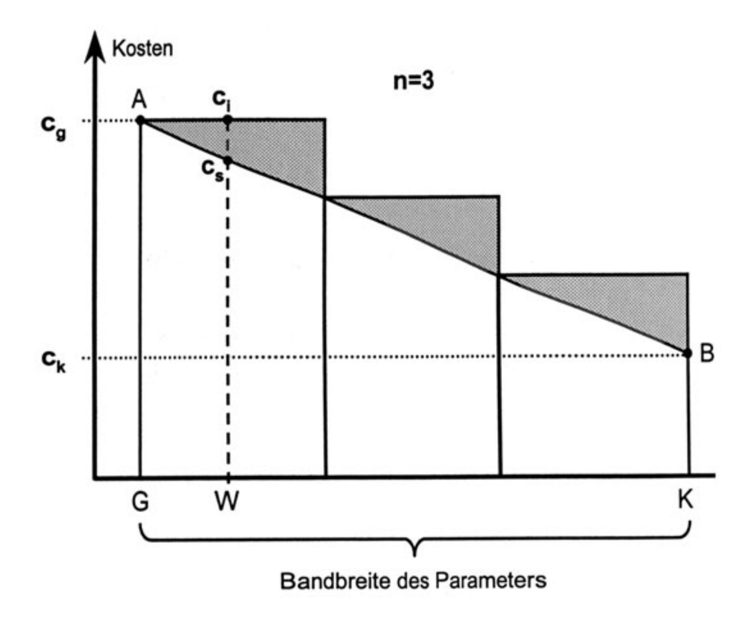


Abb. A2-1: Zusätzliche proportionale Kosten durch Überdimensionierung

Im nächsten Schritt werden die Einmalkosten für die Schaffung der Ausprägungen in Abhängigkeit der Anzahl Intervalle modelliert. Hierzu werden wiederum vereinfachend einige Annahmen getroffen. Die verschiedenen diskreten Werte des Parameters, die konstruktiv umgesetzt werden, seien alle gleich aufwendig. Das bedeutet, dass die Konstruktion jeder Variante denselben Aufwand mit sich bringt, und dass dieselben Arbeitsschritte durchlaufen werden. Es wird angenommen, dass der Konstrukteur im Verlaufe der Entwicklung aller Varianten einen Erfahrungszuwachs erfährt, der dazu führt, dass jede zusätzliche Variante etwas schneller fertig konstruiert ist, als die vorhergehende. Dieselben Erfahrungseffekte seien sinngemäss bei allen anderen variantengetriebenen Einmalkosten gültig. Dazu gehören beispielsweise Kosten für zusätzliche Werkzeuge und anderes. Diese Annahme entspricht dem Konzept der Erfahrungskurve[1]. Diese besagt, dass bei jeder Verdoppelung der kumulierten Erfahrung die Kosten um einen konstanten Wert sinken. Dieser konstante Wert wurde über verschiedene Industrien empirisch gemessen[2] und beträgt 20 bis 30%. Wenn dieser Sachverhalt

[1] Vgl. Henderson (1984), S. 19 ff.

[2] Vgl. Henderson (1984), S. 107-144.

analytisch modelliert wird, ergibt sich folgende Formel für die Einmalkosten c_e zur Schaffung der Ausprägung i des Parameters.

$$c_e(i) = c_o \cdot a^{\frac{\ln(i)}{\ln 2}}$$

$c_e(i)$	:	Einmalkosten der i-ten Ausprägung des Parameters
c_0	:	Einmalkosten zur Schaffung der ersten vom Grundprodukt abgeleiteten Variante
a	:	Erfahrungsfaktor (Bsp: 15% Erfahrungskurve ergibt a=0,85)

Um die gesamten Einmalkosten c_e zur Schaffung aller n Ausprägungen des Parameters zu bestimmen müssen die Kosten für alle Ausprägungen aufsummiert werden.

$$c_e(n) = c_o \cdot \sum_{i=1}^{n} a^{\frac{\ln(i)}{\ln 2}}$$

c_e	:	Gesamte Einmalkosten aller Ausprägungen des Parameters
c_0	:	Einmalkosten zur Schaffung der ersten vom Grundprodukt abgeleiteten Variante des Parameters
a	:	Erfahrungsfaktor (Bsp: 15% Erfahrungskurve ergibt a=0,85)
n	:	Anzahl Ausprägungen des Parameters